



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

HEINI VIRTANEN

ANIMAATIOT ORGAANISEN KEMIAN OPETUKSESSA

Diplomityö

Tarkastajat:
professori Robert Franzén ja
FT Sari Yrjänäinen

Tarkastajat ja aihe hyväksytty
Luonnontieteiden tiedekunnan
tiedekuntaneuvoston kokouksessa
13. elokuuta 2014

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknis-luonnontieteellinen koulutusohjelma

VIRTANEN, HEINI: Animaatiot orgaanisen kemian opetuksessa

Diplomityö, 62 sivua

Syyskuu 2014

Pääaine: Kemia

Tarkastajat: professori Robert Franzén ja FT Sari Yrjänäinen (TaY)

Avainsanat: animaatiot, visualisointi, orgaanisen kemian opetus, vedytys

Orgaanisen kemian oppimiseen vaikuttavat merkittävästi opiskelijan visualisointitaidot, sillä reaktioiden ymmärtäminen vaatii hyvää avaruudellista hahmotuskykyä: taitoa tarkastella molekyylejä eri perspektiiveistä. Monille opiskelijoille visualisointi tuottaa kuitenkin ongelmia, ja siksi orgaanisen kemian opetuksessa pyritään erilaisten visuaalisten mallien avulla tukemaan opiskelijoiden visualisointiprosesseja.

Visuaalisia työkaluja, kuten kaksiulotteisia kuvia ja 3D-molekyyylimallinnusta käytetään laajasti orgaanisen kemian opetuksessa. Tässä työssä kyseenalaistetaan niiden riittävyys opiskelijan dynaamisten mentaalimallien rakentumisen tukena. Ratkaisuna esitetään animaatioiden tuomista kuvien ja molekyyylimallinnuksen rinnalle orgaanisen kemian opetukseen. Reaktioiden mikrotasoa kuvaavat kolmiulotteiset animaatiot havainnollistavat reaktioiden dynaamisuutta ja multipartikkelisuutta tehokkaasti.

Tampereen teknillisen yliopiston kemian laitoksen vuosittain järjestämällä orgaanisen kemian peruskurssilla käsitellään yleisimmät orgaanisen kemian reaktiotyypit ja tutustutaan tarkemmin muutamaa teollisuudessa laajasti esiintyvään reaktiotyyppiin, joista tässä työssä esitetään vedytysreaktio. Työssä tuodaan esiin animaatioiden rooli visuaalisina työkaluina, jotka tukevat opiskelijan visualisointiprosessia ja sitä kautta vedytysreaktioiden oppimista.

Työ esittää aikaisemman tutkimustiedon pohjalta pedagogisia perusteita animaatioiden käyttämiselle orgaanisen kemian opetuksessa ja rakentaa animaatioita hyödyntävän opetusmallin vedytysreaktioiden opetuksen ja oppimisen tueksi orgaanisen kemian peruskurssille. Opetusmallin ehdotukset perustuvat aikaisempaan tutkimustietoon, mikä mahdollistaa mallin soveltamisen myös muiden orgaanisten reaktioiden opetukseen.

Työn tuloksena syntyi ehdotus opetusmallin käytöstä ja testaamisesta orgaanisen kemian peruskurssin opetuksessa.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Science and Engineering

VIRTANEN, HEINI: Animations and organic chemistry teaching

Master of Science Thesis, 62 pages

September 2014

Major: Chemistry

Examiners: Professor Robert Franzén and Ph. D. Sari Yrjänäinen (UTA)

Keywords: animations, visualization, organic chemistry teaching, hydrogenation

Visualization skills of a student significantly affect learning organic chemistry because understanding reactions requires a good spatial sketching ability: a skill to observe molecules from different perspectives. Visualization is challenging for many students and therefore an attempt is made to support students' visualization processes with the help of different visual models in teaching organic chemistry.

The visual tools, such as two-dimensional pictures and 3D molecular modelling are widely used in teaching organic chemistry. In this work their adequacy as supporting the construction of a student's dynamic mental models is questioned. The use of animations is presented as a solution besides pictures and molecular modelling in teaching organic chemistry. Three-dimensional animations of the microscopic level of reactions describe effectively dynamic and multi-particulate nature of reactions.

The most common organic chemistry reaction types are taught and few reactions which appear widely in the industry are explored in more detail in the basic course of organic chemistry organized by the Department of Chemistry of the Tampere University of Technology. One of these significant reactions is hydrogenation that is presented in this work. The work brings out the role of animations as a visual tool to develop visualization skills that promote learning of the hydrogenation reactions.

The work presents pedagogic foundations based on the earlier research on the use of animations in teaching organic chemistry. It also constructs a teaching model that utilizes animations for teaching hydrogenation reactions in the basic course of organic chemistry. The proposals of the teaching model are based on the previous research findings which make adapting the model to teaching other organic reactions also possible.

As a result it is proposed that the teaching model is used and tested in the basic course of organic chemistry.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Tampereen teknillisen yliopiston Kemian ja biotekniikan laitoksella. Orgaanisen kemian animaatiot ovat olleet mielenkiintoinen tutkimuskohde, ja niihin perehtyminen tukee tulevaa opettajauraani. Työn kautta olen löytänyt uusia keinoja ja rohkeutta hyödyntää tieto- ja viestintätekniikkaa opetuksessa.

Haluan kiittää erityisesti työni ohjaajia ja tarkastajia professori Robert Franzénia ja filosofian tohtori Sari Yrjänäistä mielenkiintoisesta ja ajankohtaisesta diplomityön aiheesta sekä asiantuntevasta ja kannustavasta ohjaamisesta diplomityöprosessin aikana. Robert Franzén on neuvonut työn kemian puolen rakentamisessa ja Sari Yrjänäinen on sitä vastoin auttanut tuomaan työhön kasvatustieteellistä näkökulmaa.

Suuret kiitokset poikaystävälleni Villelle, joka on jaksanut kuunnella diplomityöhöni liittyviä puheita viimeisten kuukausien ajan ja kannustanut minua tiiviissä aikataulussani pysymisessä. Lisäksi isot kiitokset kuuluvat ystäväilleni, jotka ovat vieneet työpäivien ulkopuolella ajatukseni pois diplomityöstä sekä vanhemmilleni ja muille läheisille, jotka ovat tukeneet minua opinnoissani ja aika ajoin kyselleet valmistumiseni ajankohtaa.

Tampereella 13. elokuuta 2014

Heini Virtanen

SISÄLLYS

1	Johdanto	1
2	Kemian opetus ja oppiminen.....	2
2.1	Oppimiskäsityksiä ja pedagogisia malleja	2
2.1.1	Konstruktivistinen oppimiskäsitys.....	3
2.1.2	Narratiivinen oppiminen	4
2.1.3	Tutkiva oppiminen.....	5
2.1.4	Ongelmalähtöinen oppiminen.....	7
2.1.5	Ilmiöpohjainen oppiminen.....	10
2.2	Oppimisprosessi	11
2.3	Oppijat yliopistomaailmassa	14
2.3.1	Opiskelijoiden käsitykset oppimisesta.....	14
2.3.2	Oppimistyylit	15
2.3.3	Lähestymistavat oppimiseen.....	16
3	Animaatiot kemian opetuksessa	18
3.1	Kemian oppimisen haasteet	18
3.1.1	Kemian esityksen tasot	19
3.1.2	Kemiallisen tiedon rakentumisen haasteet.....	21
3.2	Kemian mallit ja esitystavat	22
	Visuaaliset mallit kemiassa	23
3.3	Tieto- ja viestintätekniikan käyttö kemian opetuksessa.....	25
3.4	Visualisointi	26
3.4.1	Metavisualisointi.....	27
3.4.2	Visualisointitaidot ja niiden kehittäminen kemian oppimisessa.....	28
3.5	Animaatiot ja muut ulkoisen visualisoinnin tavat.....	30
3.5.1	Molekyyylimallinnus	30
3.5.2	Animaatiot, videot ja simulaatiot.....	31
3.6	Animaatiot oppimisen tukena	32
3.6.1	Animaatiot kiinnostuksen herättäjinä	33
3.6.2	Animaatiot – tehokkaita opetuksen apuvälineitä	33
4	Animaatioiden hyödyntäminen Tampereen teknillisen yliopiston orgaanisen kemian opetuksessa.....	37
4.1	Kemian opetuksen tavoitteet.....	37
4.2	Animaatioiden hyödyntäminen orgaanisen kemian peruskurssilla.....	38
4.2.1	Animaatioiden käyttämisen opetukseen tuomat hyödyt	39
4.2.2	Animaatiot vedytyksen opetuksessa	41
4.2.2.1	Alifaattisten alkeiden ja alkyynien vedytys.....	41
4.2.2.2	Animaatioiden käyttö vedytyksen opetuksen tukena.....	43
4.2.3	Animaatiot ja muut visuaaliset työkalut	51
5	Päätelmät	53
	Lähteet.....	56

1 JOHDANTO

Orgaanisen kemian opiskelussa avainasemassa on orgaanisten reaktioiden ymmärtäminen. Perustan niiden oppimiselle luo aineen rakenteen ja sen ominaisuuksien ymmärtäminen (Aksela 2004). Avaruudellinen geometria vaikuttaa aineen ominaisuuksiin ja kemiallisten reaktioiden tapahtumiseen, joten kyky tarkastella ja pyörittää molekyylejä mielessään avaa oven orgaanisten reaktioiden ymmärryksen maailmaan. Hyvät visualisointitaidot eivät kuitenkaan kehity ilman niiden harjoittamista. Nykyisen tutkimustiedon mukaan molekyylien kolmiulotteisuuden tarkasteleminen tulisi kuulua aina osaksi molekyylien ja kemiallisten reaktioiden käsittelyä, sillä virtuaalimallit auttavat hahmottamaan makro-, mikro- ja symbolisen tason yhteyksiä oppikirjojen kaksiulotteisia kuvia paremmin (Aksela 2004).

Molekyyylimallinnus on virtuaalimallien luomista ja kuuluu kiinteänä osana kemian akateemiseen koulutukseen ja tutkimukseen, mutta kehittääkö se yksin opetuksen tukena tarpeeksi orgaanisten reaktioiden ymmärrystä? Molekyyylimallinnus keskittyy yksittäisten molekyylien tarkasteluun ja kehittää näin avaruudellisen hahmottamisen taitoja, mutta se ei tuo esille kemiallisen reaktion dynaamista ja multipartikkelista luonnetta. Orgaanisia reaktioita kuvaavat kolmiulotteiset mikrotason animaatiot tuovat dynaamisuuden ja multipartikkelisuuden opetukseen ja oppimiseen mukaan.

Tampereen teknillisen yliopiston kemian laitos järjestää vuosittain orgaanisen kemian perusteiden opetusta noin 250 opiskelijalle. Kurssilla käsitellään orgaanisen kemian perusreaktiotyypit ja tutustutaan tarkemmin muutamaan teollisuudessa laajasti esiintyvään reaktioon, joista yksi on vedytysreaktio. Vedytyksessä molekyylin tyydyttymättömiin sidoksiin liitetään vetyä katalyytin avulla. Tavoitteena on, että opiskelijat oppivat vedytysreaktion perusmekanismin ja ymmärtävät reaktion tapahtumiseen vaikuttavat tekijät. Tämän työn tarkoituksena on tuoda esille kemian animaatioiden opiskelijoiden visualisointiprosessia tukeva ja sen myötä vedytysreaktioiden oppimista edistävä vaikutus.

Työ esittää pedagogisia perusteita animaatioiden käytölle orgaanisen kemian opetuksessa ja rakentaa niiden pohjalta opetusmallin siitä, kuinka hyödyntää animaatioita erityisesti vedytysreaktioiden opetuksen ja oppimisen tukena niin, että niiden oppimisprosessia tukeva vaikutus on mahdollisimman suuri. Opetusmalli on luotu aikaisempiin tutkimustuloksiin perustuen, mikä mahdollistaa opetusmallin soveltamisen myös muiden orgaanisten reaktioiden opetukseen.

2 KEMIAN OPETUS JA OPPIMINEN

Kemia on tärkeä opiskeltava tieteenala: se antaa opiskelijalle mahdollisuuden ymmärtää, mitä hänen ympärillään tapahtuu (Sirhan 2007). Kemian ymmärtäminen tekee silmin näkymättömästä ja ei käsin kosketeltavasta järkeen käypää (Kozma & Russel 1997). Mutta nähdäkseen pintaa syvemmälle opiskelijan tarvitsee todella osata asia syvällisesti, kuten myös Bent (1984) toteaa:

“Evidently there’s more to seeing than meets the eye. To see what a chemist sees one needs to know what a chemist knows.”

Monet opiskelijat pitävät kemiaa vaikeana, kompleksisena ja abstraktina tieteenä, joka vaati erityisiä älyllisiä lahjoja ja suuria ponnisteluja ymmärryksen saavuttamiseksi (Ben-Zvi, Eylon & Silberstein 1987). Johnstonen (1984) mukaan opiskelijoiden vaikeudet pohjautuvat kolmeen tekijään:

1. Kemian luonne tieteenä tekee siitä vaikeasti hyväksyttävän
2. Perinteisten opetusmetodien toimimattomuus
3. Opiskelijoiden omat opiskelutavat ovat ristiriidassa toisen tai molempien yllä mainittujen kanssa.

Kemia on luonteeltaan käsitteellistä, mikä aiheuttaa opiskelijoissa usein tunteen, että se ei ole yhteydessä todelliseen maailmaan. Ymmärtämällä opiskelijoiden erilaisia tapoja oppia, tiedostamalla erilaiset mahdollisuudet lähestyä opetettavia asioita ja ymmärtämällä oppimisprosessin eri vaiheiden merkitykset opettajalla on työvälineitä tehokkaan ja mielekkään oppimisilmapiirin luomiseen.

Tässä luvussa esitellään työn aiheen, animaatioiden opetuskäytön, kannalta olennaiset oppimiskäsitykset ja pedagogiset mallit. Luvussa käsitellään myös oppimisprosessia ja yliopisto-opiskelijoita kemian oppijina; millaiset ovat heidän käsityksensä oppimisesta sekä millaisia oppimistyyliä ja lähestymistapoja oppimiseen liittyy.

2.1 Oppimiskäsityksiä ja pedagogisia malleja

Yksi opetuksen ydinkysymyksistä on oppijan opiskelu- ja oppimisprosessin ymmärtäminen ja tukeminen. Opetussuunnitelman, opetuksen ja oppimisen välillä ei ole olemassa selvää kausaalisuhdetta, vaan opettaja tulkitsee opetussuunnitelmaa ja kokoaa vaadit-

tujen oppisisältöjen ja oppimistavoitteiden pohjalta oppimistapahtumien kokonaisuuden, jonka uskoo tukevan oppijan oppimista parhaiten. Jokainen oppija vastaanottaa ja käsittelee saatua tietoa yksin sekä vuorovaikutuksessa muiden kanssa, jonka tuloksena syntyy erilaisia oppimistuloksia. (Yrjänäinen & Ropo 2013)

On olemassa erilaisia käsityksiä oppimisen luonteesta ja malleja erilaisista opetus- ja oppimistavoista. Seuraavissa alaluvuissa esitellään luonnontieteiden ja erityisesti kemian opetukseen ja oppimiseen vaikuttavia oppimiskäsityksiä sekä kemian opetuksen ja oppimisen luonteeseen sopivia pedagogisia malleja.

2.1.1 Konstruktivistinen oppimiskäsitys

Konstruktivistisen oppimiskäsityksen mukaan oppiminen on tiedon konstruointia: oppija on aktiivinen tiedonkäsittelijä, joka valikoi, muokkaa ja tulkitsee uutta tietoa. Konstruktivismia pidetään behavioristiselle oppimiskäsitykselle vastakkaisena. Oppiminen ei ole tiedon siirtymistä ulkoisesta kohteesta subjektiin, vaan se on tiedon konstruointia ja luomista. Konstruktivismia pidetään sateenvarjoterminä, jonka alla on useita erilaisia näkemyksiä ja ajatussuuntauksia. Yhteistä niille on, että ne kaikki painottavat oppijan omaa aktiivista tiedonmuodostamisprosessia. (Siljander 2005; Nevgi & Lindblom-Ylänne 2009)

Yksi konstruktivistisen oppimisen teorian pioneereista, David Ausubel (1986), korostaa opiskelijan kykyä vastaanottaa ja ymmärtää tietoa. Opettaja ei voi vain jakaa uutta tietoa, vaan hänen on tiedostettava opiskelijoiden ennakkokäsitykset ja ohjattava opiskelijoita rakentamaan uusia tietorakenteita. Ausubelin mukaan oppiminen on prosessi, jossa opiskelijan tietorakenne on dynaamisessa vuorovaikutuksessa uuden tiedon kanssa. Opiskelija yhdistää uutta tietoa aikaisempiin tietokäsityksiinsä, ja näin muokkaa ja konstruoi tietorakenteitaan. (Nevgi & Lindblom-Ylänne 2009)

Kun korostetaan oppimisen kulttuurisidonnaisuutta ja yhteisön merkitystä oppimisessa, puhutaan sosiokulttuurisista ja sosiokonstruktivistisista oppimiskäsityksistä. Sosiokulttuurisen oppimiskäsityksen mukaan oppiminen on yhteisöstä osalliseksi tulemisen prosessi; tieto syntyy sosiaalisesti ja kulttuurisesti määrittäneessä kontekstissa eikä vain yksilön ajattelun ja havaintojen pohjalta. Tiedonmuodostus ja oppiminen ovat luonteeltaan sosiaalisia ilmiöitä eikä niitä näin ollen voida erottaa ympäröivästä sosiaalisesta ja kulttuurisesta todellisuudesta. (Nevgi & Lindblom-Ylänne 2009)

Sosiokonstruktivistinen oppimiskäsitys ymmärtää yksilön tiedon olevan osa ympäröivän yhteisön laajempaa tietojärjestelmää. Uutta tietoa konstruoidaan sosiaalisessa vuorovaikutuksessa; se rakentuu ympäröivään kulttuuriin ja siirtyy sosiaalistumisen myötä oppijalle. Oppijaa pidetään kuitenkin samalla aktiivisena tiedonprosessioijana, joka muuttaa yhteistä tietoa ja vaikuttaa ympäröivään sosiaaliseen yhteisöön. Oppiminen on mielen-

sisäisen toiminnan, osallistumisen ja tiedon jakamisen kombinaatio. (Nevgi & Lindblom-Ylänne 2009)

2.1.2 Narratiivinen oppiminen

Esittelen narratiivisen oppimisen Sari Yrjänäisen ja Eero Ropon vuonna 2013 julkaisemaan artikkeliin *Narratiivisesta opetuksesta narratiiviseen oppimiseen* perustuen.

Narratiivinen oppiminen on merkityksiin pohjautuvaa oppimista. Yrjänäinen ja Ropo (2013) määrittelevät narratiivisen oppimisen merkitysten ja niistä muodostuvien narratiivien eli ajallisten ja tilallisten kertomusten omakohtaiseksi luomiseksi opetustilanteessa. Opettaja luo omat narratiivinsa ja opiskelija omansa. Opiskelijan narratiivit muodostuvat opettajan narratiivien, sekä opiskelijan omien jo syntyneiden kokemusten ja kertomusten pohjalta. Opettajan pyrkimys on ohjata oppijan muodostamien merkitysten kehittymistä kohti yleisesti hyväksyttyjä, tavoitteiden mukaisia merkityksiä eli kohti opittavan asian ymmärtämistä. Esimerkiksi orgaanisten yhdisteiden isomeriaa opettaessa opettajalla on lähtökohtanaan omat narratiivinsa, joihin pohjautuen hän opettaa isomeriaa opiskelijoille. Hänen tulee tarjota opiskelijoille heidän osaamistasolleen sopivaa opetusta, joten hän muuntaa oman tieteellisen narratiivinsa opiskelijoille opittavaan muotoon. Tämä muoto ei ole kuitenkaan se, minkä oppija luo omassa mielessään, vaan hän muodostaa opettajan ja sosiaalisen ympäristön tarjoamien merkityksien, sekä omien kokemusten ja kertomuksien pohjalta oman narratiivinsa orgaanisten yhdisteiden isomeriasta. Se voi poiketa paljonkin opettajan esittämästä, jos oppilaalla on ongelmia esimerkiksi kolmiulotteisessa hahmotuskyvyssä.

Yrjänäinen ja Ropo erottavat opiskelu- ja oppimistapahtuman toisistaan: oppiminen on yksilön merkitysten luomisprosessi ja opiskelu tietoista toimintaa, joka pyrkii tuottamaan oppimista eli muodostamaan merkityksiä. Heidän mukaansa opiskelua ovat kaikki tietoiset ulkoiset ja sisäiset aktiviteetit, joiden tavoitteena on tuottaa oppimista. Opiskelu vaatii oppijalta omien narratiivisten prosessien hallintaa kyseessä olevassa kontekstissa; puhutaan toimintakyvystä. Oppijan toiminta perustuu hänen minuuteen ja yksilöllisiin ominaisuuksiin liittyvään toimintakykyyn. Yrjänäinen ja Ropo tarkastelevat toimintakyvyn kehittymistä kolmen kontekstin kautta. Autobiografinen näkökulma viittaa omaan minään liittyviin kysymyksiin; siihen, millaisena yksilö näkee itsensä. Sosiaalinen näkökulma liittyy siihen, millaisiin yhteisöihin yksilö tuntee kuuluvansa ja kuinka hän kokee asemansa ja kykynsä toimia näissä yhteisöissä. Kolmas, kulttuurinen näkökulma, koskee yksilön suhdetta ympäristön tavoitteisiin ja päämääriin, sekä laajemmin hänen maailmankatsomukseensa. Narratiivinen identiteetti muodostuu näiden kolmen kontekstin kokonaisuutena; se on yksilön luoma kertomus itsestään. Koulumaailmassa sekä yliopistomaailmassa toimintakonteksteja on monia, joten oppiainetta, kuten kemiaa oppiessaan yksilö luo narratiiveja kaikilla kolmella edellä mainitulla tasolla.

Narratiivisen eli merkityksiin pohjautuvan oppimisen mukaan oppimisprosessi koostuu oppijan kokemuksista ja niiden tulkinnoista, muodostuvista merkityksistä ja merkityksistä luoduista narratiiveista eli kertomuksista. Merkitykset eivät synny itsestään, vaan ne ovat opiskelu- ja oppimisprosessien tulosta. Merkitykset ovat usein myös abstrakteja, ja vaativat oppijalta ponnisteluja niiden liittämiseksi yhteen narratiiviksi. Narratiivien muodostuksen edellytys on merkitysten kielentäminen. Kielentäminen vaatii käsitteitä, käsite rakenteita, käsitteiden välisiä yhteyksiä ja niiden ymmärtämistä abstraktilla tasolla. Tätä merkitysten kielentämisprosessia narratiiveiksi kutsutaan narratiivien muodostumisprosessiksi. Oikeansuuntaisen muodostumisprosessin mahdollistamiseksi liikkeelle on lähdettävä oppijalle tutuista ilmiöistä, joita vähitellen laajentamalla voidaan oppimisprosessi kohdistaa uusiin ilmiöihin. (Yrjänäinen & Ropo 2013) Kemiaa opiskellessaan opiskelijan pohjatietojen eli aikaisempien narratiivien on oltava kunnossa, jotta hän voi muodostaa uusia, päteviä narratiiveja uusista opiskeltavista asioista. Ilman pohjatietoja hänellä ei ole tarvittavia käsitteitä tukena muodostaakseen uusia, oikeanlaisia merkityksiä ja luodakseen niistä eheän uuden narratiivin.

Opetus- ja opiskelutapahtumaan osallistuu vähintään kaksi toimijaa, opettaja ja oppilas. Narratiivinen opetusprosessi pohjautuu siihen, että opettaja ymmärtää, mitä, miksi, kelle ja millä tavoin opettaa, sekä hänellä on käsitys, kuinka arvioida oppimista. Oppijan tulisi ymmärtää, mitä, miksi ja kenen kanssa hän opiskelee ja oppii. Lisäksi oppijalla tulisi olla käsitys, kuinka hän itse oppii parhaiten ja kuinka hänen oppimistaan arvioidaan. Narratiivinen opettaminen edellyttää opettajalta narratiivisen oppimisprosessin ymmärtämistä sekä toiminnallista osaamista, joka pyrkii kehittämään oppijan toimintakykyä. Opettajan tulee ymmärtää, että opetus on oppijan tietojen kartuttamisen lisäksi hänen toimintakykynsä kehittämistä. Opiskelijan on oppiakseen muodostettava itse opiskeltavaan asiaan liittyvät merkitykset ja luotava niistä narratiiveja, joista osaaminen syntyy. Opetuksessa on tärkeää huomioida narratiivisen oppimisprosessin yksilöllisen luonteen lisäksi sen samanaikainen sosiaalinen luonne. Merkityksiä ja narratiiveja luodaan myös yhdessä muiden oppijoiden kanssa. (Yrjänäinen & Ropo 2013) Yrjänäisen ja Ropon mukaan aineenopetus sortuu usein sirpaleisen tiedon tuottamiseen sen sijaan, että se tähtäisi kokonaisvaltaisten narratiivien muodostamiseen, jotka tukisivat paremmin oppijan identiteetin luomisprosessia niin aineen oppijana että ihmisenä ja yhteisön jäsenenä.

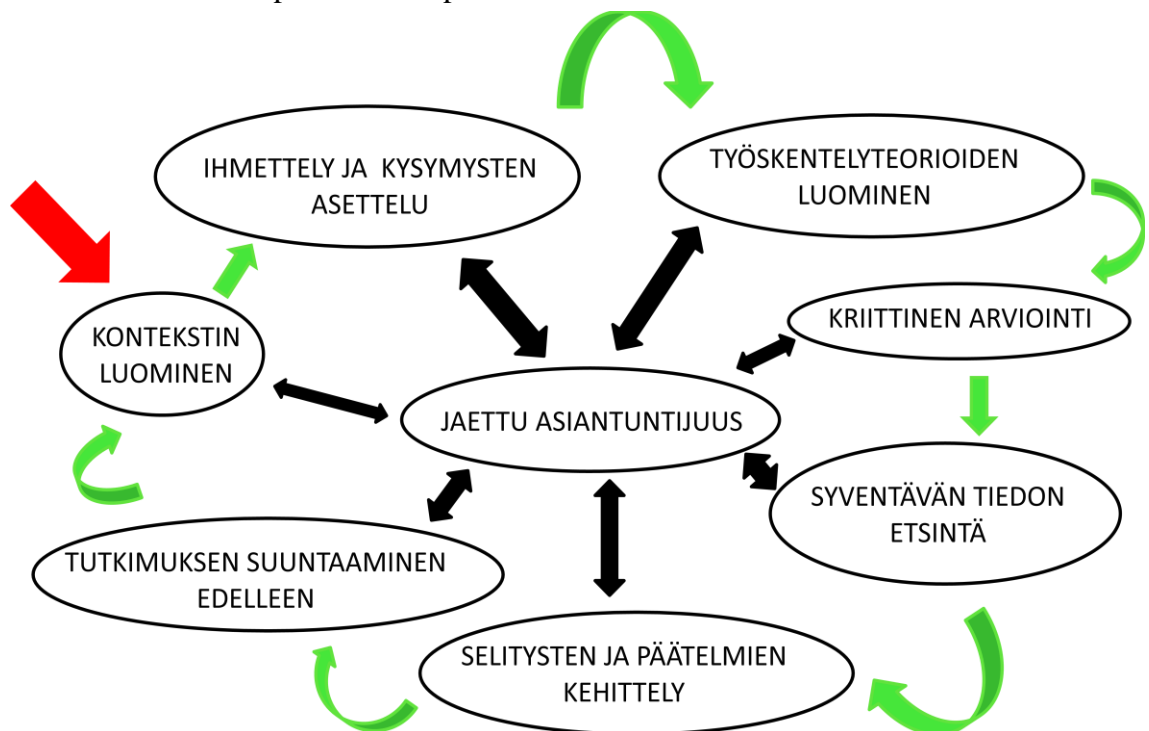
2.1.3 Tutkiva oppiminen

Carl Bereiterin ja Marlene Scardamalian (1993) tiedonrakentamisen teoriaan pohjautuva tutkiva oppiminen (Hakkarainen, Lonka & Lipponen 1999, 2004) on pedagoginen malli, joka painottaa ongelmien pohtimista ja pyrkimystä löytää ratkaisu niihin. Sen toinen teoreettinen lähtökohta on filosofi Jaakko Hintikan (1999) tutkimuksen kyselymalli, joka korostaa kysymysten luomista ja seuraamista tiedon luomisprosessissa.

Tutkivan oppimisen malli tukee asiantuntijalle tyypillistä tiedonhankintaa oppimisen yhteydessä. Malli korostaa oppijan aktiivisuutta; se ohjaa opettajia ja opiskelijoita osallistumaan yhteiseen tutkimushankkeeseen ja jakamaan tietoaan ja osaamistaan. Toisaalta malli huomioi myös yksilön henkilökohtaisen kehittymisen; yksilö saattaa käyttää tutkivan oppimisen keskeisiä toimintoja tutkiessaan jotain asiaa ja kehittäessään omaa asiantuntemustaan. Tieto ei siirry suoraan ihmiseltä toiselle, vaan jokainen yksilö rakentaa tiedon uudelleen, usein muiden avustuksella. (Hakkarainen ym. 2005)

Tutkiva oppiminen perustuu ajatukseen oppimisesta yhteisöllisenä tiedon konstruointina; se on dynaaminen ja yhteisöllinen kysymys-vastausprosessi (Hakkarainen ym. 2004, 2005). Oppimisen voidaan katsoa olevan prosessi, jossa esitetään kysymyksiä asiantuntijalle, kirjallisuudelle, opettajalle, työtoverille tai itselleen. Tutkimuksen edistyminen vaatii jatkuvaa kysymysten ja työskentelyteorian uudelleen luomista sekä toiminnan jatkuvaa kriittistä arviointia. Tavoitteena on uuden asian ymmärtäminen tai ongelman ratkaiseminen. Tutkiva oppiminen murtaa teorian ja käytännön rajat valjastamalla myös teorian luovan ongelmanratkaisun välineeksi. (Lonka, Pyhältö & Lipponen 2009)

Tutkivan oppimisen mallissa oppiminen etenee kuvassa 2.1 esitettyjen vaiheiden kautta. Oppimisprosessin vaiheet eivät kuitenkaan seuraa toisiaan automaattisesti tietyssä järjestyksessä, vaan voidaan ajatella jokaisen vaiheen olevan osa vuorovaikuttavaa kokonaisuutta. (Lonka, Pyhältö & Lipponen 2009) Edelliseen kappaleeseen viitaten esimerkiksi tutkimuskysymyksiin tulee palata ajoittain, arvioida niiden mielekkyyttä ja tarvittaessa muokata niitä palvelemaan paremmin tutkimusta.



Kuva 2.1 Tutkivan oppimisen vaiheet (mukaillen Hakkarainen ym. 1999)

Tutkiva oppimisprosessi aloitetaan luomalla yhteinen konteksti eli määritellään merkityksellinen ja moniulotteinen ongelma, jota avataan pohtimalla ja esittämällä kysymyksiä sekä luomalla ongelmaan sopivia työskentelyteorioita. Niiden avulla opiskelijat pääsevät itse ohjaamaan oppimistaan, mikä haastaa heidät tutkimaan omia käsityksiään tutkimusongelmasta. Ongelman tulee olla opiskelijoista itsestään lähtevä, vaikka aihepiiri olisikin ennalta määrätty. Omakohtainen ongelman asettaminen ehkäisee tiedon mekaanisen kopioimisen ja luo pohjaa mielekkäälle oppimiselle. Kysymysten ja työskentelyteorioiden kriittisen arvioinnin jälkeen opiskelijat etsivät tietoa eri lähteistä ja syventävät näin omaa tietämystään asiasta. Uuden tiedon valossa esitetään yhdessä uusia tarkentavia tutkimuskysymyksiä ja muokataan niiden pohjalta työskentelyteorioita. Prosessin lopussa esitetään päätelmät ja ratkaisu ongelmalle ja pohditaan, kuinka tutkimusta voisi jatkaa eteenpäin. Olennaista, on että jokaisessa prosessin vaiheessa toimitaan yhdessä ja jokaisella oppimisyhteisön jäsenellä on osansa ongelman ratkaisussa. (Lonka, Pyhältö & Lipponen 2009)

Tutkivan oppimisen malli sopii hyvin yliopisto-opetukseen, koska se muistuttaa tutkimuksen tekemistä (Lonka, Pyhältö & Lipponen 2009), joka on keskeinen osa yliopistomaailmaa. Yliopisto-opiskelun ajatellaan usein olevan yksilökeskeistä, vaikka monesti oppiminen tapahtuu sosiaalisessa vuorovaikutuksessa muiden opiskelijoiden kanssa. Myös tieteellistä tutkimusta tehdään useimmiten tutkimusryhmissä, ja yksittäinen tutkijakin on aina osa tiedeyhteisöä. Tutkivan oppimisen malli pyrkii tuomaan tämän yhteisöllisyyden oppimiseen jo oppimisen alkumetreiltä asti (Hakkarainen ym. 2005).

Kemian opiskeluun on vaivatonta soveltaa tutkivan oppimisen mallia. Tutkimusongelmaksi voi esimerkiksi asettaa tuntemattoman aineen molekyyliarakenteen selvityksen. Laboratoriomittausten, kirjallisuuden ja opettajan avulla sekä muiden opiskelijoiden kanssa yhteistyötä tehden asetetaan tutkimuskysymykset, tehdään tutkimussuunnitelma, tutkitaan kirjallisuutta, tehdään laboratoriomittauksia ja tulkitaan sekä arvioidaan tuloksia. Toimitaan edellä kuvatun tutkivan oppimisprosessin vaiheiden mukaisesti ja löydetään yhdessä vastaus ongelmaan. Jos mieleiseen ratkaisuun ei päästä, kehitetään tutkimusta ja yritetään uudelleen.

2.1.4 Ongelmalähtöinen oppiminen

Ongelmalähtöisen oppimisen juuret ovat antiikin Kreikassa, sokraattisessa vuoropuhelussa. Sokrates esitti oppilailleen ongelmia ja auttoi kysymysten avulla heitä tutkimaan oletuksiaan, arvojaan ja omaa tietämystään. (Savin-Baden 2000) Nykymaailmassa ongelmalähtöisen oppimisen (problem-based learning) otti ensimmäisenä käyttöön Howard Barrows lääketieteen opetuksessa Yhdysvalloissa 1960-luvulla huomatessaan lääketieteen opiskelijoiden vaikeudet teoreettisen tiedon soveltamisessa käytännön ongelmatilanteissa. Hän kehitti opetus- ja arviointimenetelmän, jossa simuloidun potilaan

avulla tuettiin opiskelijoiden oppimista ja saatiin samalla tietoa opiskelijoiden osaamisesta. (Lindblom-Ylänne ym. 2009)

Lindblom-Ylänne, Nieminen, Iivanainen ja Nevgi (2009) kirjoittavat ongelmalähtöisen oppimisen olevan pedagoginen malli, jolle olennaista on oppimislähtöisyys, monitieteisyys, teorian ja käytännön yhdistäminen, oppimisprosessin korostaminen, vastuun siirtäminen opiskelijalle, omien tietojen ja taitojen jatkuva arviointi sekä kommunikaatio- taitojen korostuminen (Savin-Baden, 2000; Taylor & Mifflin 2008).

Ongelmalähtöinen oppimisprosessi koostuu ryhmän yhteisestä avausistunnosta, itsenäisestä opiskelusta sekä yhteisestä purkuistunnosta. Oppimisprosessissa voidaan nähdä olevan seitsemän askelta: (David, Patel, Burdett & Rangachari 1999; Hakkarainen, Lonka & Lipponen 1999; Lindblom-Ylänne ym. 2009)

1. Virikemateriaaliin tutustuminen ja epäselvien käsitteiden läpikäynti
2. Ongelman määrittely
3. Aivoriihi
4. Ilmiötä kuvaavan selitysmallin rakentaminen
5. Oppimistavoitteiden määrittely
6. Itsenäinen opiskelu
7. Itsenäisen opiskelun tulosten jakaminen.

Ongelmalähtöisen oppimisen prosessin ensimmäinen askel otetaan tutustumalla virikemateriaaliin, jonka opettaja on valmistellut. Kyseessä voi olla teksti, video tai muu kuvaus aiheesta. Virikemateriaali perustuu todellisuuteen ja sen tavoitteena on herätellä opiskelijoiden aikaisempaa tietämystä ja saada heidät pohtimaan sekä esittämään kysymyksiä aiheesta. Materiaalin tulee olla riittävän haastava, jotta ratkaisun löytämiseksi joutuu ponnistelemaan. Epäselvät käsitteet käydään yhdessä läpi, jotta oppimisprosessi voi käynnistyä. Avoimen ja turvallisen ilmapiirin luominen on edellytys oppilaiden luovien ajatusten syntymiselle ja rohkeudelle kysyä askarruttavista asioista. (Lindblom-Ylänne ym. 2009)

Prosessin toinen askel on ongelman määrittely. Ongelmasta keskustellessa opettajan tulisi rohkaista kaikkia osallistumaan. Juuri erilaisten näkemysten kohtaaminen, niiden vertaaminen ja yhdistäminen ovat avainasemassa, sillä ne laajentavat ja syventävät ongelman määrittelyä. Ongelman määrittelyn jälkeen aktivoidaan opiskelijoiden aikaisempia tietoja. Tässä prosessin kolmannessa vaiheessa nostetaan esille opiskeltaviin ilmiöihin liittyviä tietoja, oletuksia ja kysymyksiä, joiden pohjalta määritellään hypoteeseja ja testataan erilaisia selitysmalleja. Onnistuessaan yhteinen pohdinta vie opiskelua kohti käsiteltävän asian syvällistä ymmärtämistä. Neljännellä askeleella vaiheessa kolme syntyneitä ajatuksia arvioidaan, jäsennetään ja kehitetään eteenpäin, luodaan kokonaiskuva ongelmosta. Seuraavan, viidennen askeleen tarkoituksena on yhteisten oppimista-

voitteiden määrittely. Tavoitteet ohjaavat kuudennen askeleen itsenäistä työskentelyä, jonka tarkoituksena on syventää jokaisen yksilön osaamista. Itsenäisessä työskentelyssä yksilö hankkii ja rakentaa uutta tietoa. (Lindblom-Ylänne ym. 2009)

Ongelmalähtöisen oppimisen viimeisessä, kokoavassa vaiheessa jaetaan itsenäisen opiskelun tulokset ryhmän kesken; verrataan uusia tietoja ja pyritään auttamaan jokaista ymmärtämään opiskeltua aihetta. Tavoitteena on perusteellinen analyysi ongelmasta ja askeleella viisi määriteltyjen oppimistavoitteiden arvioimien: kuinka hyvin ne saavutettiin. Yhteinen purkuistunto syventää oppimista, selventää epäselvyyksiä ja luo pohjaa tulevalle. (Lindblom-Ylänne ym. 2009)

Lindblom-Ylänne, Niemisen, Iivanaisen ja Nevgin mukaan ongelmalähtöisen oppimisen tavoitteena on auttaa opiskelijoita hahmottamaan moniulotteisia kokonaisuuksia ja ymmärtämään, ettei ongelmiin usein ole yksiselitteisiä vastauksia. Ongelmalähtöisessä oppimisympäristössä opettaja toimii tutorina, joka ohjaa oppimisprosessia, tukee ryhmän sisäistä vuorovaikutusta, motivoi opiskelijoita, seuraa ja ohjaa sekä ryhmän että yksilöiden edistymistä sekä antaa rakentavaa palautetta. Hän jättäytyy tietoisesti sivummalle. Opettajalta vaaditaan vankkaa oman alansa osaamista, hyviä vuorovaikutustaitoja sekä ongelmalähtöisen oppimisen teoreettisen taustan ja perusperiaatteiden tuntemusta. Pelkkä ongelmien käyttö opetuksessa ei vielä ole ongelmalähtöistä oppimista. Opettajan oman menetelmään perehtyneisyyden lisäksi tulisi hänen perehdyttää myös opiskelijat menetelmän käyttöön ennen opiskelun aloittamista, jotta opiskelijoille syntyy käsitys oppimisprosessin seitsemästä askeleesta.

Ongelmalähtöisen oppimisen juuret ovat paljon kauempana kuin tutkivan oppimisen. Niiden näkemykset oppimisesta ovat kuitenkin läheisessä yhteydessä toisiinsa. Kumpikin mallit korostavat yhteisöllisyyttä ja yhdessä määritellyn ongelman ratkaisuprosessin kautta oppimista. Ongelmalähtöisessä oppimisessä itsenäinen opiskelu on esillä enemmän, kun tutkiva oppiminen painottaa vuorovaikutusta tutkimukseen osallistuvien välillä koko oppimisprosessin ajan. Toisaalta kumpikin näkemys pitää tärkeänä ryhmän yhteisen ja yksilön henkilökohtaisen tiedon rakentumisprosessin vuorovaikutusta.

Kemian yliopisto-opiskelussa ongelmalähtöistä oppimista voi hyödyntää esimerkiksi erilaisiin projektitöihin. Virikemateriaalina voi olla video jostakin kemianteollisuuden prosessista. Opiskelijat lähtevät purkamaan videota esittämällä prosessiin liittyviä kysymyksiä, kuten: Mitkä ovat lähtöaineet ja mitä prosessissa valmistetaan? Millaista tekniikkaa tarvitaan? Millaiset ovat reaktio-olosuhteet ja kuinka niiden muuttaminen vaikuttaa prosessiin? Opiskelijat kulkevat ongelmalähtöisen oppimisen mallin askelten kautta kohti kyseisen kemian prosessin ymmärtämistä opettajan tukiessa ja varmistaessa oppimisen oikean suunnan. Oppimisprosessin loputtua opiskelijoilla on parhaassa tapauksessa prosessin syvä ymmärrys ja osaaminen työelämää varten.

2.1.5 Ilmiöpohjainen oppiminen

Ilmiöpohjaisessa oppimisessa lähtökohtana pidetään todellisen maailman ilmiöitä, joita tarkastellaan kokonaisina, aidossa kontekstissaan. Ilmiöiden kautta oppiminen on oppiainerajat ylittävää, jolloin vältetään opeteltavien asioiden hajottamiselta pieniksi, irrallisiksi palasiksi, joita on vaikea yhdistää toisiinsa. (Muukkonen 2012; Cantell 2011)

Ilmiöpohjainen lähestymistapa tukee tutkivan oppimisen ja ongelmalähtöisen oppimisen mukaista oppimista ja käytännön toteuttamista. Se korostaa näiden tapaan oppijien roolia aktiivisina toimijoina. Ilmiöpohjainen oppiminen on ilmiöiden kokonaisvaltaista tarkastelua eri näkökulmista, jolloin eri oppiaineiden ja oppiaiheiden integrointi ja oppimisympäristöjen monipuolisuus ovat merkittävässä osassa. Liikkeelle lähdetään yhdessä esittämällä kysymyksiä ilmiöstä tai asettamalla ilmiöön kohdistuva ongelma. Ilmiöpohjaisessa oppimisessa pyritäänkin ongelmalähtöiseen oppimiseen, jossa oppijat yhdessä etsivät vastauksia asettamiinsa kysymyksiin tai ongelmaan. On tärkeää, että kysymykset ja ongelmat ovat oppijien itsensä yhdessä asettamia, ja näin heijastavat heidän aitoa mielenkiintoaan ilmiötä kohtaan. (Muukkonen 2012; Rongas & Silander 2008)

Ilmiöpohjaisuus korostaa opittavien tietojen ja taitojen sovellettavuutta. Opeteltavien asioiden on sitouduttava todellisen maailman ilmiöihin. Uutta tietoa tulisi soveltaa aina ilmiöön tai ongelman ratkaisuun, jotta uuden tiedon käyttöarvo konkretisoituu ja sen omaksuminen helpottuu. Lukemalla tai vain teorian tasolla opeteltu tieto jää usein pinnalliseksi ja se opitaan vain irrallisina palasina kokonaisvaltaisen ymmärtämisen ja ehjiin merkityskokonaisuuksien rakentumisen sijaan. Tällöin myös tiedon yhdistäminen todellisen maailman ilmiöön jää usein uupumaan. (Rongas & Silander 2008)

Ilmiöpohjaisen lähestymisen tavoitteena on synnyttää monipuolisia oppimiskokemuksia, joissa oppijan omat aistihavainnot, tulkinta, merkitysten muodostusprosessi ja toiminta ovat pääosassa. Oppiminen tuntuu mielekkäältä ja merkitykselliseltä. Lisäksi ilmiöpohjaisuus korostaa oppimisen autenttisuutta. Autenttisessa oppimisessä oppimistilanteet sisältävät aitoja työelämän prosesseja, mikä tutustuttaa oppijan alan asiantuntijakulttuuriin. (Rongas & Silander 2008) Tutustuessaan jo opiskellessaan konkreettisesti opiskelemaansa alan toimintoihin oppijan siirtyminen ja mukautuminen työelämään on kivuttomampaa.

Ilmiöpohjainen opetus pohjautuu konstruktivistiseen oppimiskäsitykseen, sillä se tukee konstruktivistista ajatusta oppijasta aktiivisena, pienistä tiedon palasista kokonaisuutta konstruoivana tiedonrakentajana. Ilmiöpohjaisuus korostaa yhteisöllistä oppimista, mikä tukee sosio-konstruktivistista ja sosiokulttuurista oppimiskäsitystä. (Cantell 2011, Rongas & Silander 2008)

Ilmiöpohjainen lähestymistapa yhdistäen tutkivan ja ongelmalähtöisen oppimisen menetelmät istuu hyvin kemian yliopisto-opetukseen. Ilmiöpohjaisuuden korostama autenttisuus on erittäin tärkeää kemian opinnoissa, sillä kemian alan tutkimuksen ja teollisuuden toimintojen ja prosessien tuominen lähelle opiskelijaa herättää opiskelijan kiinnostuksen ja motivoi oppimaan aiheesta lisää. Esimerkiksi jonkin teollisuuden prosessin oppimisesta tulee merkityksellistä, kun sitä pääsee konkreettisesti seuraamaan kemian alan tehtaalte, ja näin tietää opittavan asian tukevan tulevaa työtään. Teollisuusmitta-kaavassa valmistettavien kemikaalien valmistusprosesseissa esiintyy usein saantoa heikentäviä sivureaktioita. Tällaiseen prosessiin voi tutustua ilmiöpohjaisen lähestymistavan mukaisesti esittämällä kysymyksiä, kuten mitä, miksi ja miten. Opiskelijat esittävät kysymyksiä ja/tai määrittävät ongelman, minkä jälkeen he yhdessä etsivät vastauksia kysymyksiinsä ja ratkaisua asettamaansa ongelmaan. Ratkaisuprosessiin voi sisältyä myös kokeellista työskentelyä.

Ilmiöpohjaisen oppimisen lähestymistavan kautta ennestään tuntematon teollisuuden prosessi sivureaktioineen tulee ymmärretyksi. Kun opiskelijat esittävät itse kysymyksiä ja etsivät niihin vastauksia, he joutuvat pohtimaan asiaa ja oppimisesta tulee tehokkaampaa kuin ei-interaktiivisen luento-opetuksen kuuntelu. Luento-opetus voi toki olla interaktiivista, ja ilmiöpohjaista opetusta voi soveltaen toteuttaa myös luentosalissa, kun resurssit eivät riitä pidempikestoiseen ja pienemmissä ryhmissä toteutettavaan opiskeluun ja oppimiseen. Luennoitsija voi herättää kiinnostuksen esittämällä esimerkiksi videon jostakin kemian teollisuuden prosessista, jonka jälkeen opiskelijat saavat esittää kysymyksiään, joihin lähdetään interaktiivisen keskustelun kautta etsimään vastauksia opettajan pitäessä keskustelun oikeilla raiteilla. Nykyopiskelijoilla on lähes jokaisella mobiililaitte, joten tiedon etsiminen luennon aikana käy helposti.

Ilmiöpohjainen lähestymistapa luento-opetuksessa toimii paremmin pienillä opiskelijamäärillä kuin suurilla massaluennoilla. Positiivisena puolena on sen opiskelijoille luoma mahdollisuus osallistua itse yhdessä muiden kanssa tiedon hankintaan ja merkitysten muodostamiseen. Toki luennolla on usein myös mahdollista pysyä passiivisena ja seurata muiden toimintaa. Merkittävää onkin, kuinka mielenkiintoa herättävästi opettaja osaa alustaa opittavan aiheen.

2.2 Oppimisprosessi

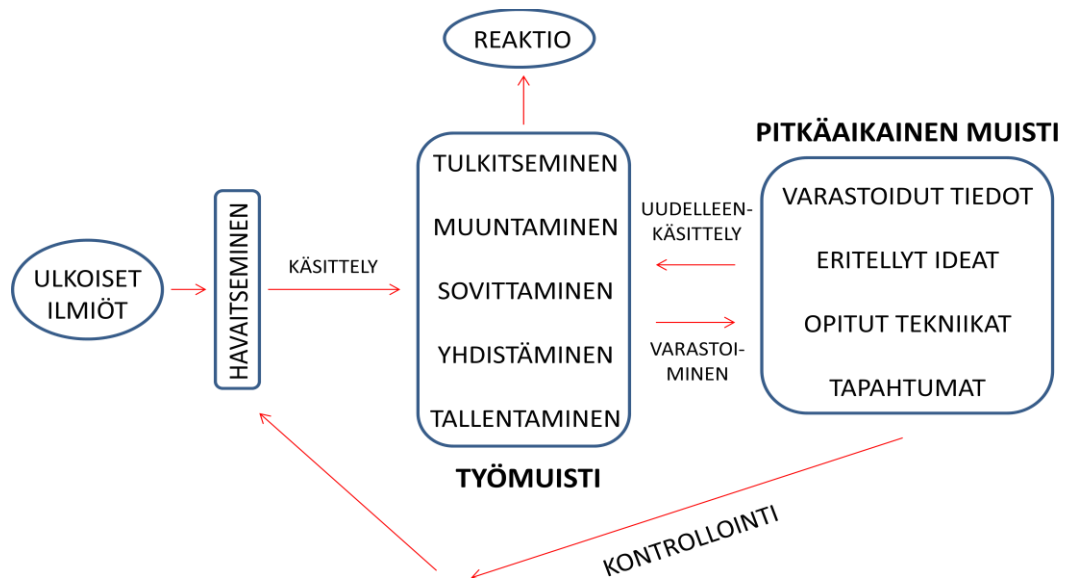
Jokainen yksilö rakentaa tietämystään omalla tavallaan. Tieto ei siirry muuttumattomana opettajalta oppijalle, vaan oppiessaan oppija analysoi opetusta ja rakentaa siitä saadusta tiedosta hänen aikaisemmin oppimaansa ja oppimistyyliinsä mukautuvan version. Hän muokkaa uudelleen entistä tietorakennettaan ja käsityksiään maailmasta (Engeström 1987)

Engeströmin (1987) mukaan oppija on tutkija, joka etsii toimivaa selitysmallia ilmiölle, testaa muodostamaansa mallia ja korjaa sitä. Engeström jakaa oppimisprosessin kuuteen vaiheeseen:

1. **Motivoituminen** on tietoisien sisällöllisen mielenkiinnon heräämistä opittavaa asiaa kohtaan. Motivoituakseen oppijan on tiedostettava opittavan uuden ajattelun ja toimintamallin ja oman aikaisemman tietorakenteensa välillä oleva ristiriita. Oppija tiedostaa ristiriidan ongelmatilanteessa, jossa hänen aikaisemmat käsityksensä eivät riitä ongelman ratkaisemiseen.
2. **Orientoituminen** on jäsentyneen, tietoisien ennakkokuvan tai lähtökohtamallin muodostamista; orientaatioperusta, joka selittää ongelman ratkaisemiseen tarvittavan periaatteen ja tietorakenteen. Oppija muodostaa selitys- ja toimintamallin, joka auttaa häntä erottamaan oleellisen epäolennaisesta ja rakentamaan palasista kokonaisuuden.
3. **Sisäistäminen** on aikaisemman ajattelu- ja toimintamallin muokkaamista uuden tiedon avulla. Oppija kytkee uutta tietoa aikaisempaan, tulkitsee ja muokkaa tiedot uudeksi, sisäiseksi mallikseen.
4. **Ulkoistaminen** on opittavan mallin soveltamista konkreettisten ongelmien ratkaisuun; oppija testaa oppimaansa. Ulkoistaminen on edellytys sisäistämisen onnistumiselle.
5. **Arviointi** on opittavan ajattelu- ja toimintamallin kriittistä tarkastelua: Kuinka pätevä ja todenmukainen malli on ja mitä heikkouksia sillä on? Mitkä ovat mallin soveltuvuusrajat?
6. **Kontrolli** on oppijan oman oppimisen tarkastelua. Oppija erittelee suoritustaan uuden ajattelu- ja toimintamallin valossa ja korjaa tarvittaessa käsityksiään tai toimintaansa. Hän pyrkii tietoisesti parantamaan opiskelumenetelmiään.

Engeströmin (1987) mukaan jonkin vaiheen jäädessä heikoksi tai puuttuessa oppiminen jää pinnalliseksi. Oppijasta voi tuntua, että hän on ymmärtänyt asian, mutta pyydettyään oppijaa ulkoistamaan oppimaansa hän huomaa tietonsa olevan hapuilevaa, asian sisäiset yhteydet epäselviä eikä hän kykene erottamaan olennaista epäolennaisesta. Kemiaa opiskeleva voi ennen tulevaa tenttiä uskoa osaavansa opittavat asiat hyvin, mutta kokeessa hän ei välttämättä osaa soveltaa oppimaansa tietoa. Tällöin hän ei ole painottanut tarpeeksi viidettä vaihetta (ulkoistaminen) oppimisprosessissaan. Tällöin myös opittavan asian sisäistäminen on jäänyt vajaaksi, ja kokonaisuudessaan oppiminen on jäänyt pinnalliseksi.

Oppimisen mahdollisuuksien ja rajojen ymmärtämiseksi tarvitaan malli, joka kuvaa tiedon rakentumista. Johnstone (1993) esittää informaation prosessointimekanismit kaavion avulla. Mukaillen Johnstonen kaaviota kuvassa 2.2 esitetään tiedon prosessoimisen ja ihmisen muistiin tallentumisen mekanismit.



Kuva 2.2 Tiedon rakentuminen ja tallentuminen (mukaillen Johnstone 1993)

Johnstonen (1993) mukaan ulkoinen ilmiö herättää huomiomme ja saa meidät joko havainnoimaan ilmiötä oppimisen kontekstissa tai vain keskittymään siihen ilman tarkempaa ajatusta oppimisesta. Ihminen ei kuitenkaan voi samanaikaisesti havaita kaikkea ympärillään tapahtuvaa, vaan hänen pitkäaikainen muistinsa auttaa häntä erottamaan olennaisen epäolennaisesta. Havaittu informaatio käsitellään tulkittamalla ilmiötä aikaisempien kokemusten perusteella; se sovitetaan ja yhdistetään aiemmin opittuun. Ihmisen käsitellessä ja rakentaessa uutta tietoa se tallentuu työmuistiin lyhyeksi aikaa. Jos ihminen kokee käsittelemänsä tiedon tärkeäksi, hän varastoi sen pitkäaikaiseen muistiin tai muuntaa sen reaktioksi. Tallennusprosessi on tehokkainta voidessamme liittää uuden tiedon jo oppimaamme eli tietoon, joka on jo pitkäaikaisessa muistissamme. Pitkäaikaisella muistillamme näyttäisi olevan lähes rajaton kyky säilyttää informaatiota, mutta tiedon työmuistiin palauttaminen ei aina ole tehokasta, mikä ilmenee unohtamisena. Työmuistin kapasiteetti on vuorostaan erittäin rajallinen ja ylikuormittuu helposti. (Johnstone 1993)

Kemian opiskelun yliopistossa aloittaessaan opiskelijalla on pitkäaikaisessa muistissaan tietopohja, jonka olemassaolon hän on usein todistanut pääsykokeissa. Tämän tietopohjan avulla hänen tulisi kyetä käsitellä yliopistossa vastaan tulevia uusia asioita ja yhdistää ne osaksi jo oppimaansa. Opintojen edetessä kemiallinen tieto pitkäaikaisessa muistissa karttuu ja opiskelijan kyky prosessoida tietoa syvenee.

2.3 Oppijat yliopistomaailmassa

Yliopisto-opetuksen tavoitteena on uuden tutkimustiedon luominen ja akateemisen asiantuntijuuden kehittyminen. Tavoitteen täytyminen vaatii sekä opiskelijalta että tiedeyhteisöltä uuden oppimista. Oppimisprosessia säätelevät opettajan ja opiskelijan oppimiseen liittyvät käsitykset ja toimintatavat. (Lindblom-Ylänne, Mikkonen, Heikkilä, Parpala & Pyhältö 2009) Tässä luvussa käsitellään opiskelijoiden käsityksiä, toimintatapoja ja oppimistyyliä sekä erilaisia lähestymistapoja oppimiseen.

2.3.1 Opiskelijoiden käsitykset oppimisesta

Opiskelijan käsitykset oppimisesta ja tiedosta ohjaavat opiskelijaa oppimistilanteessa. Nämä käsitykset eroavat opiskelijoiden välillä. (Lindblom-Ylänne ym. 2009) Marton, Beaty ja Dall’Alba (1993) jaottelevat käsitykset oppimisesta kuuteen kategoriaan, joiden mukaan oppiminen on:

1. tiedon lisääntymistä
2. oivaltamista
3. tiedon soveltamista
4. käsitteen laadullisen merkityksen muutos
5. tiedon rakentamista
6. henkilökohtainen muutosprosessi.

Nämä kuusi oppimiskäsityskategoriaa ovat hierarkkisessa suhteessa toisiinsa. Ylemmät kategoriat voivat sisältää alempien kategorioiden käsityksiä, kuten esimerkiksi käsitys oppimisesta oivaltamisena voi sisältyä käsitykseen, että oppiminen on tiedon soveltamista. Hierarkian alin käsitys oppimisesta tiedon lisääntymisenä ei sisällä mitään ylempien oppimiskäsityskategorioiden käsityksiä. (Lindblom-Ylänne ym. 2009)

Edellä esitelty oppimiskäsitysten jaottelu on kollektiivinen kategorisointi, ja yksilön kohdalla oppimiskäsitykset voivat vaihdella oppimistilanteen ja opiskeltavan sisällön mukaan (Lindblom-Ylänne ym. 2009). Opiskelijan oppimiskäsitykset ovat yhteydessä hänen käsitykseensä siitä, mitä tieto ja tietäminen tarkoittavat (Hofer 2002). Yliopisto-opintojen alussa opiskelijat ajattelevat, että kaikkiin kysymyksiin on olemassa oikeat vastaukset ja opettajan tehtävänä on välittää niitä opiskelijoille; opiskelijoiden tietokäsitys on dualistinen. Opintojen edetessä opiskelijan tietokäsitys muuttuu vähitellen relativistiseksi; hän alkaa ymmärtää tiedon moniulotteisen ja tilannesidonnaisen luonteen. (Perry 1970; Lindblom-Ylänne ym. 2009)

2.3.2 Oppimistyyli

Oppimistyyli ovat yksilöllisiä tapoja vastaanottaa, prosessoida ja palauttaa mieleen informaatiota. Eri opiskelijoilla korostuvat erilaiset oppimiseen liittyvät kyvyt. Yksilöllinen oppimistyyli muodostuu perinnöllisyystekijöiden, elämäkokemusten ja ympäristön yhteisvaikutuksesta. Sen muodostumiseen vaikuttavat myös yksilöön kohdistuvat vaatimukset. Näin oppimistyyli voi myös muuttua esimerkiksi opintojen tai työtehtävien merkittävästi muuttuessa. (Rytkönen & Hätönen 2008)

Rytkönen ja Hätönen (2008) erottavat neljä erilaista oppimistyyliä:

1. ***Divergoivan*** oppimistyylin omaavan henkilön vahvuuksia ovat mielikuvituseläisyys ja tunneäly. Hän lähestyy tilanteita havaintoja tehden ja kykenee näkemään konkreettiset tilanteet eri näkökulmista. Oppimistilanteissa divergoiva henkilö on avoin ja ennakkoluuloton, kerää mielellään tietoa sekä toivoo saavansa henkilökohtaista palautetta. Hän suosii ryhmätyöskentelyä.
2. ***Assimiloiva*** henkilö haluaa liittää oppimiskokemukset laajempaan asiayhteyteen. Hänen vahvuuksiinsa kuuluu kyky luoda teoreettisia malleja. Assimiloiva henkilö pitää teorian loogisuutta käytännön merkitystä tärkeämpänä. Oppiessaan hän pitää asioiden pohtimisesta ja analyyttisten mallien tutkimisesta. Hän suosii luento-opetusta.
3. ***Konvergoivan*** oppijan vahvuudet ovat ongelmanratkaisussa, päätöksenteossa ja ideoiden käytännön soveltamisessa. Hänelle ominaista on looginen ajattelu, ja hän viihtyy teknisten tehtävien ja ongelmien äärellä. Konvergoivan oppijan oppimista edistävät uusien ideoiden testaus, simulaatiot ja käytännön soveltaminen.
4. ***Akkomodoiva*** henkilö ottaa riskejä, pitää toiminnasta ja mahdollisuuksien etsimisestä. Hän mukautuu nopeasti uusiin tilanteisiin. Oppimistilanteissa akkomodoiva henkilö tekee mielellään yhteistyötä ja hänen oppimistaan edistää työskentely uusissa ja haastavissa tilanteissa.

Ihmisellä on piirteitä jokaisesta oppimistyylistä, mutta yhden oppimistyylin vahvuudet korostuvat. Eri oppimistyyliin liittyviä ominaisuuksia tulisi kehittää tietoisesti, jotta vältetään yhteen tyyliin lukkiutumiselta. Oppiminen olisi tehokkainta henkilön omatesa kaikkien neljän oppimistyylin vahvuudet. Tämä on kuitenkin käytännössä mahdotonta, mutta oman oppimistyylin tiedostaminen ja eri oppimistyylien vahvuuksien kehittäminen voi tehostaa yksilön oppimista. (Rytkönen & Hätönen 2008)

Suomessa paljon esillä ollut aisteihin perustuva oppimistyyliajattelu erottaa neljä erilais-
ta oppijaa: (Jyväskylän yliopisto; Prashnig 2000)

1. **Auditiivisen oppijan** vahvin aisti on kuuloaisti, joten hän oppii hyvin kuuntele-
malla esimerkiksi luentoja. Tiedon prosessointi ääneen tukee auditiivisen oppi-
jan oppimista, minkä takia erilaiset sosiaaliset oppimistilanteet sopivat hänelle.
2. **Visuaalinen oppija** vastaanottaa ja käsittelee uutta tietoa parhaiten kuvallisten
apukeinojen kuten kuvien, taulukoiden ja kuvaajien välityksellä. Hiljaa lukemi-
nen on hänelle tehokkaampaa kuin kuuntelu.
3. **Kinesteettinen oppija** käyttää koko vartalonsa tiedon vastaanottamiseen ja käsit-
telyyn. Hänen vahvuuksiaan ovat liikkeiden hallinta ja kyky käsitellä esineitä
taitavasti. Esimerkiksi laboratoriotyöskentely tukee kinesteettisen oppijan oppi-
mista.
4. Kinesteettistä oppijaa lähellä oleva **taktiili oppija** oppii tehokkaasti käsillä teke-
misen, kuten kirjoittamisen, piirtämisen ja mallien rakentamisen kautta.

Ihminen hankkii tietoa aistiensa kautta. Usein yksi hänen aistikanavistaan on toisia do-
minoivampi, mutta ihmisellä voi olla myös useampi vahva aistikanava. Tällöin oppimi-
nen on todennäköisesti tehokkaampaa. (Prashnig 2000) Yliopiston kemian opetuksessa
jokaisen oppijatyyppin tukeminen on mahdollista: Auditiiviselle oppijalle luennot ja
ryhmätyöskentely ovat tehokkaita oppimiskeinoja, visuaalinen oppija hyötyy opettajan
esittämistä kuvista, simulaatioista, kuvaajista ja animaatioista, kinesteettinen oppija on
vahva laboratoriotyöskentelyssä ja taktiilin oppijan oppimista tukee itsenäinen työsken-
tely esimerkiksi molekyylimallinnusohjelmien parissa.

2.3.3 Lähestymistavat oppimiseen

Opiskelijan kokemukset ja tulkinnat oppimisympäristöstään vaikuttavat hänen tapaansa
lähestyä opittavia asioita. Lähestymistavat koskevat sitä, miten opiskelija tulkitsee ja
ymmärtää oppimistehtäviä ja miten nämä tulkinnat ohjaavat hänen oppimistaan (Rams-
den 2003). Lähestymistavat oppimiseen ovat sekä kehittyviä että tilanteittain vaihtele-
viä. Puhutaan pintasuuntautuneista ja syväsuuntautuneista lähestymistavoista. (Lind-
blom-Ylänne ym. 2009)

Pintasuuntautuneesti opiskeleva pyrkii selviytymään kurssivaatimuksista ja keskittyy
opiskeltavan tiedon toistamiseen. Hänellä ei ole selkeitä opiskelutavoitteita, vaan hän
keskittyy opiskeltavan materiaalin toistamiseen. Tästä syystä hän tuntee vaikeaksi uusi-
en ja isojen kokonaisuuksien hallitsemisen. Syväsuuntautuneesti opiskeleva pyrkii ym-

märtämään opiskeltavan materiaalin. Hän yhdistää aktiivisesti uutta tietoa aikaisempiin tietoihinsa ja kokemuksiinsa, ja arvioi tietoa kriittisesti. (Lindblom-Ylänne ym. 2009)

Yliopisto-opiskelijan opiskelua ohjaavat myös kurssin arviointiperusteet. Kurssin aikana opiskelija kiinnittää huomiota opiskeltavan sisällön lisäksi opettajan esiintuomiin tavoitteisiin ja arviointimenetelmiin, ja suuntaa opiskeluaan niiden mukaisesti. Opiskelija, joka rakentaa johdonmukaisesti omaa opiskeluaan tukevat olosuhteet ja kohdentaa opiskeluaan kurssin arviointimenetelmien mukaisesti, soveltaa systemaattista lähestymistapaa oppimiseensa. Opiskelija hallitsee ajankäyttöään ja opiskelupanostaan tehokkaasti tarkoituksenaan menestyä opinnoissaan. (Lindblom-Ylänne ym. 2009)

Kemian opiskelijoista löytyy jokaiseen näihin kategorioihin edustajia. Riippuen suoritettavan kurssin kiinnostavuudesta ja siitä, onko kurssi tärkeä osa opiskelijan opintosuunnitelmaa, opiskelija lähestyy opiskeltavia asioita pinta- tai syväsuuntautuneesti. Jos kurssin suorittaminen tuntuu vain pakon sanelemalta, ei usein myöskään opiskelu voi olla syväsuuntautunutta. Kemian kursseille ominaista ovat kurssiin sisältyvät laskuharjoitukset ja/tai seminaarityöt, joiden menestyksekkäs suorittaminen korottaa kurssiarvosanaa. Tällaiset kannustimet saavat monet opiskelijat lähestymään opiskeltavia asioita systemaattisesti. Laskuharjoituksista saatavat pisteet korostuvat opiskelijan mielessä, ja hän suuntaa opiskelunsa niin, että saavuttaa mahdollisimman paljon arvosanaansa nostattavia lisäpisteitä. Laboratoriokursseilla opiskelu saattaa jäädä pintasuuntautuneeksi, jos opiskelija ei paneudu kunnolla ilmiöiden takana oleviin teorioihin. Usein työselostusten teko kuitenkin ohjaa syväsuuntautuneeseen opiskeluun.

3 ANIMAATIOT KEMIAN OPETUKSESSA

Kemian animaatioiden ja muiden visuaalisten esitysten tarjonta on lisääntynyt merkittävästi viime vuosien aikana (Pernaa & Aksela 2013). Yhä teknologisoituvassa maailmassa ne ovat tasapuolisesti kaikkien saatavilla.

Animaatioilla voidaan tuoda esiin kemiallisen reaktion dynaaminen, interaktiivinen ja multipartikkelinen luonne eksaktisti. Siksi hyvin tehdyt animaatiot voivat auttaa opiskelijoita ymmärtämään kemiallisia ilmiöitä paremmin kuin oppikirjat. Parhaimmillaan ne ovat mukaansatempaavia ja tehokkaita oppimisen apuvälineitä, jotka saavat opiskelijat keskittymään avainasioihin. Hyvällä animaatioiden suunnittelulla ja toteutuksella sekä niiden esittämisellä oikeassa yhteydessä voidaan välttää opiskelijoiden virhekäsitysten syntymisiä tai poistaa jo syntyneitä virhekäsityksiä. (Tasker & Dalton 2006)

Luvun alkupuolella käsitellään kemian oppimisen haasteita; kykyä liikkua kemian eri tasojen välillä, kemiallisen tiedon rakentumisprosessia sekä erilaisia kemian malleja ja esitystapoja. Luvussa luodaan myös lyhyt katsaus tieto- ja viestintätekniikan merkitykseen kemian opetuksessa ja oppimisessa. Luvun loppupuolella pohditaan animaatioiden roolia kemian opetuksessa; kuinka animaatioiden avulla voidaan tukea oppimista, estää virhekäsityksiä ja motivoida opiskelijaa.

3.1 Kemian oppimisen haasteet

Uuden kurssin aloittaessaan opiskelijoilla on joukko uskomuksia opiskelun luonteesta ja siitä, mitä he aikovat saavuttaa kurssilla (Biggs & Moore 1993). Nämä uskomukset ovat syntyneet aikaisempien opiskelukokemusten sekä opiskelijan sen hetkisten tavoitteiden ja motivaation pohjalta (Sirhan 2007).

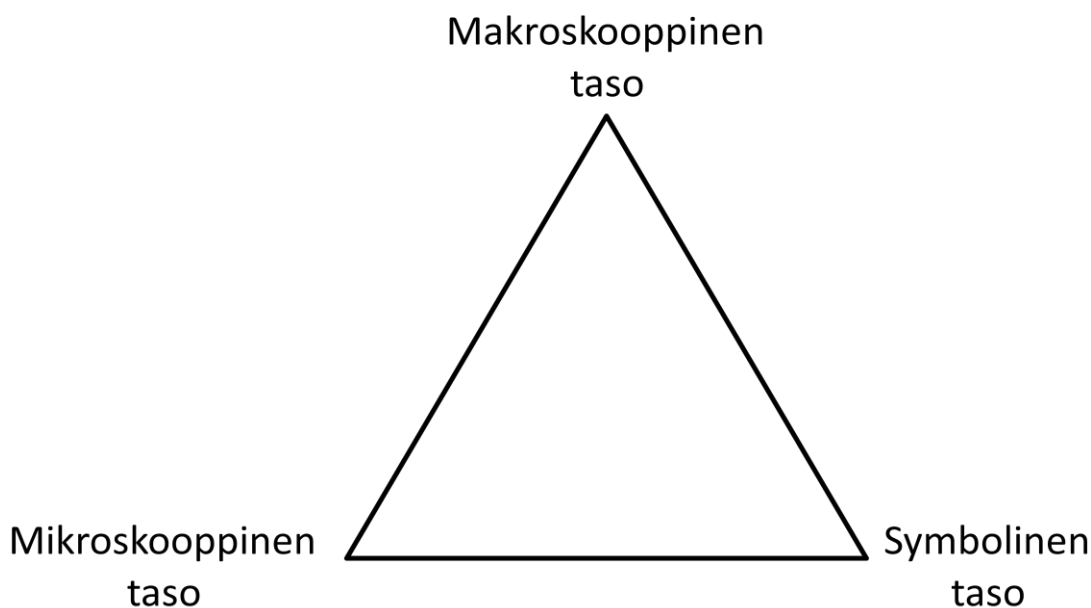
Yliopistossa kemian kursseille osallistuu opiskelijoita eri lähtökohdista. Varsinkin kemian peruskursseilla voi olla opiskelijoita, joiden perusopinnot sisältävät pakollisia kemian kursseja, vaikka kemia ei olisikaan pää- tai sivuaineena. Puutteelliset ja virheelliset pohjatiedot sekä mahdolliset ennakkokäsitykset kemian opiskelusta vaikuttavat opiskelijan motivaatioon kurssia kohtaan sekä kurssista suoriutumiseen. Luonnollisesti vankat pohjatiedot omaava ja kemiasta kiinnostunut suoriutuu usein myös kursseista hyvin arvosanoin. Kiinnostus ei kuitenkaan aina takaa osaamista ja asian syvällistä ymmärtämistä. Tästä syystä kemian opiskelijat voidaan jakaa kahteen ryhmään: opiskeli-

joihin, jotka kykenevät kemiallisen tiedon syvälliseen käsittelyyn ja niihin, joilla on vaikeuksia liikkua kemian eri tasojen välillä.

Jotta opettaja voi tiedostaa opiskelijoiden ennakko- ja virhe käsityksiä sekä kemiallisen tiedon käsittelyvaikeuksia, tulee hänen ymmärtää, mihin kemian oppimisessa ilmenevät haasteet pohjautuvat. Hänen tulee tiedostaa, mikä kemiallisen tiedon luonteessa tekee siitä opiskelijoille haasteellisen prosessoida ja oppia. Kemian opettajan kyky nähdä oppimisen ongelmakohdat auttaa häntä löytämään keinoja opiskelijoiden motivointiin ja oppimisen tukemiseen.

3.1.1 Kemian esityksen tasot

Teoria, että kemiallinen tietämys ja ymmärrys maailmaamme kohtaan luodaan, ilmaistaan, opetetaan ja siitä kommunikoidaan kolmella eri tasolla, on ollut yksi vaikuttavimmista ja tuottavimmista ideoista kemian koulutuksessa jo yli 30 vuoden ajan (Johnstone 1982; Talanquer 2011). Teorian isän, A. H. Johnstonen mukaan kemiassa on kolme esitystasoa (kuva 3.1): makroskooppinen, mikroskooppinen ja symbolinen taso.



Kuva 3.1 Esitystasot kemiassa (mukaillen Johnstone 1993; Aksela 2005)

Makrokemia on konkreettista ja näkyvää (Johnstone 1993). Makroskooppinen taso on ilmiöiden havaitsemista näkemällä ja mittaamalla; voimme nähdä ja käsitellä materiaaleja ja aineita, sekä kuvailla niiden ominaisuuksia termeillä, kuten esimerkiksi tiheys, syttyvyys ja väri (Johnstone 1982). Yksinkertaisia makroskooppisen tason esimerkkejä kemiassa ovat värin muuttuminen tai saostuman muodostuminen kemiallisessa reaktiossa (Aksela 2005). Makroskooppisella tasolla luonnon ilmiön osaa tarkastellaan irrallaan

kokonaisuudesta; esimerkiksi puhdasta kemikaalia, joka on erotettu kompleksisesta seoksesta, jossa se luonnossa esiintyy. Makroskooppinen taso on siten esitys kokemusmaailman palasesta, jota tiede pyrkii tarkastelemaan sopivalla tavalla. (Gilbert 2008)

Mikrokemia on molekylaarista, atomaarista ja kineettistä (Johnstone 1993). Mikroskooppisen tason esitykset voidaan sanoa olevan makroskooppisen tason takana konkreettisen havainnoinnin ulottumattomissa. Mikroskooppinen taso synnyttää ominaisuuksia, jotka ilmenevät makroskooppisella tasolla, kuten esimerkiksi molekyylejä ja ioneja käytetään selittämään puhtaiden liuosten ominaisuuksia. (Gilbert 2008). Se on taso, jolla pyritään selittämään, miksi kukin kemiallinen yhdiste käyttäytyy sille ominaisella tavalla. (Johnstone 1982)

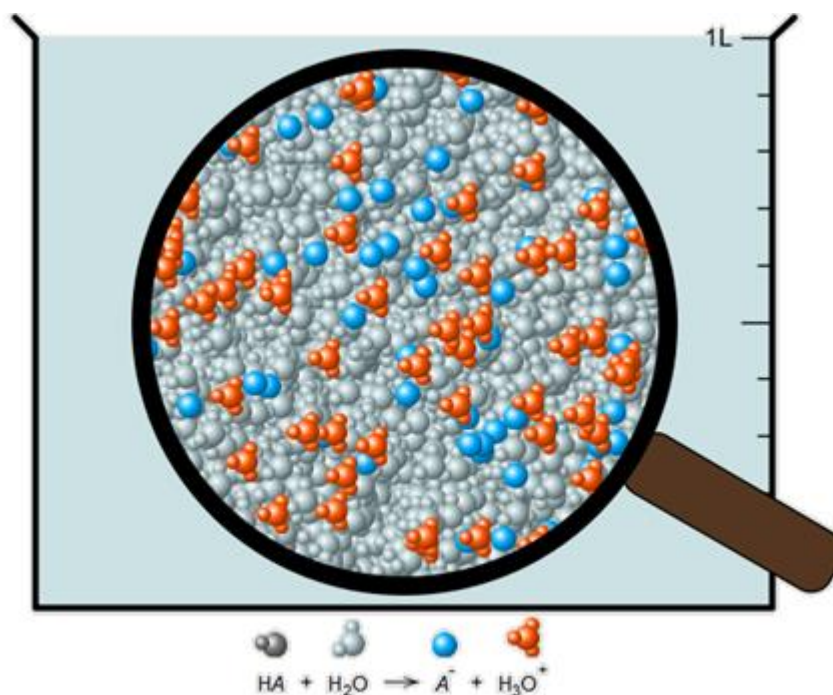
Esittävä kemia on symboleita, yhtälöitä, stoikiometriaa ja matematiikkaa (Johnstone 1993). Symbolinen taso koostuu kvalitatiivisista tai kvantitatiivisista abstraktioista, joita käytetään mikroskooppisen tason yksityiskohtien esittämisessä (Tasker & Dalton 2006). Abstraktit tiivistävät mikroskooppisen tason ilmiöitä sekä näyttävät, kuinka monta ilmiön kutakin tyyppiä esiintyy tällä tasolla; esimerkiksi kemiallisia ja matemaattisia yhtälöitä, jotka liittyvät mooli-käsitteeseen, käytetään yhdessä ratkaisun esittämiseksi. (Gilbert 2008). Symbolinen taso on siis esittävä taso, jossa esitetään kemiallisia yhdisteitä kaavoilla ja niiden muutoksia yhtälöillä. Kemian symbolinen taso on osa kemian sofistikoitunutta kieltä. (Johnstone 1982)

Kokenut kemisti kykenee työskentelemään kemian esitystasokolmion (kuva 3.1) sisällä liikkuen luontevasti eri kulmien välillä. Kemisti rakentaa todellisuuden dynaamisena sekoituksena makro-, mikro- ja symbolisen tason elementtejä (Johnstone 1982; Talanquer 2011). Johnstone (1993) kuvaa lumen avulla kemistin ja lapsen ajatusmaailman eroa: katsoessaan lumisadetta kemisti kykenee ajatuksissaan irtautumaan lumivuorattujen kattojen kauneudesta, ja keskittyä lumihitaleiden kuusikulmaiseen muotoon, vetysidoksiin ja jäähilaan. Lapsi sivuuttaa kemistin ”ikkunan” nähden lumen lumipallojen materiaalina (Johnstone 1993). Lapsen ajatukset jäävät makrotasolle. Kemian opiskelijan kyky liikkua eri tasojen välillä on lapsen ja kemistin taitojen välissä riippuen hänen osaamisestaan. Uutta asiaa opiskellessaan opiskelijat työskentelevät pääasiassa makro- ja symbolisella tasolla ja kompuroivat yrittäessään yhdistää mielekkäästi mikrotasoa asiaan (Gabel 1998; Talanquer 2011). Kemian opetus painottuu symboliseen tasoon (Gabel 1998), ja auttaa harvoin opiskelijoita rakentamaan siltoja eri tasojen välille (Talanquer 2011). Tiedetään kuitenkin, että monet väärinymmärrykset kemiassa johtuvat opiskelijoiden kykenemättömyydestä visualisoida rakenteita ja prosesseja juuri mikroskooppisella tasolla (Tasker & Dalton 2006).

Kemian opiskelussa mikroskooppisen tason ymmärrys on merkittävässä osassa. Ymmärtääkseen, mistä aiheutuu esimerkiksi liuoksen värin muutokset tai kuinka orgaaninen reaktio etenee (reaktiomekanismin vaiheet), täytyy olla selvä käsitys orgaanisten

yhdisteiden rakenteista ja niiden avaruudellisesta suuntautumisesta, sekä kyvystä luovuttaa tai vastaanottaa elektroneja, atomeja tai atomiryhmiä. Kuitenkin työskentely mikrotasolla tuottaa vaikeuksia monille kemialle opiskeleville, mikä estää kemian syvällisen oppimisen, ja vie pohjan kyvyltä soveltaa opittua tietoa uusiin asioihin.

Kemian oppikirjoissa näkee kuvia, joissa kaikki kolme kemian tasoa on esitetty samassa kuvassa. Näistä esimerkkinä kuva 3.2, jossa on esitetty vahvan hapon vesiliuos makrotasolla (laboratoriotasolla) sinisenä liuoksena, mikrotasolla (molekyyli- ja ionitasolla) molekyyleinä ja ioneina sekä symbolisella tasolla reaktioyhtälönä.



Kuva 3.2 Esimerkki kuvasta, jossa kaikki kolme kemian käsittelytasoa ovat esillä (University of Colorado)

Kemian tasot yhdistävä kuva auttaa opiskelijaa löytämään yhteyden kaikkien kolmen käsittelytason välille nopeammin, ja vie opiskelijaa nopeammin kohti kykyä liikkua eri tasojen välillä ongelmitta.

3.1.2 Kemiallisen tiedon rakentumisen haasteet

Tiedon prosessointimalli (kuva 2.2) auttaa ymmärtämään, miksi oppijat mieltävät kemian haastavaksi oppia ja miksi opetukseen nähty vaiva ei ole suorassa yhteydessä oppimistuloksiin. Pitkäaikaisen muistimme sisältö vaikuttaa siihen, mitä havainnoistamme pidämme tärkeänä, kiinnostavana ja ymmärrettävänä.

Ihminen käsittelee aineellista maailmaa luonnostaan makrotasolla; hän havaitsee aistittavia asioita. Johnstone (1993) ottaa esimerkiksi alkuaineet: Opettaja voi esitellä opiskelijoille kolme eri jauhetta ja kertoa kaikkien niiden olevan alkuaineita sekä sisältävän samanlaisia atomeja, mutta hänen kertomassaan ei ole mitään, mikä auttaisi oppilaita ymmärtämään alkuaine-käsitettä. Opettajan esitys atomeista ei ole aistien tavoitettavissa eikä sitä voi havainnollistamalla yhdistää mihinkään jo luonnostaan opiskelijoiden pitkäaikaiseen muistiin ankkuroituneeseen tietoon. Ongelma vaikeutuu, kun opettaja kertoo esimerkkejä yhdisteistä, jotka sisältävät kahta tai useampaa alkuainetta. Aineen erottaminen kokeellisesti yhdisteestä ei auta opiskelijaa yhdistämään alkuaineen käsitettä hänen aikaisempiin tietoihinsa, sillä kemian käsitteiden luonne eroaa täysin useimmista muista aineellisen maailman käsitteistä.

Opettajan kertoessa alkuaineen ja yhdisteen käsitteistä hän käsittelee niitä esittelemällä symboleita, kaavoja ja yhtälöitä. Hän työskentelee keskellä kemian tasojen kolmiota, ja vain harvat opiskelijoista kykenevät samaan. Suurin osa ei tiedä, kuinka käsitellä uusia käsitteitä ja yrittäessään liikaa he ylikuormittuvat. Opiskelijoiden pitkäaikainen muisti ei ole vielä tarpeeksi kehittynyt, jolloin he turhautuvat ja hämmennys kasvaa opiskelun mielekkyyden hiipuesssa ja innostus kemian opiskelua kohtaan vähenee. (Johnstone 1993)

3.2 Kemian mallit ja esitystavat

Kemiassa ja kemian opetuksessa erilaiset mallit ovat tärkeässä roolissa. Erilaisten mallien käyttö auttaa opiskelijoita luomaan yhteyksiä makro-, mikro- ja symbolisen tason välille. Niiden avulla näkymätön, mikroskooppinen taso voidaan saada näkyväksi. (Barnea 2000) Kemian yliopisto-opiskelijoiden tulee ymmärtää mallien merkitys ja avainasema kemian kehityksessä, ja kehittää kykyään tuottaa, testata ja arvioida kemian malleja. (Gilbert 2005)

Kemiassa ja kemian opetuksessa usein käytettyjä malleja ovat: mentaalimallit, ilmaistut mallit, konsensusmallit, tieteelliset mallit, historialliset mallit, opetussuunnitelmamallit, opetusmallit, pedagogiset mallit ja hybridimallit (Aksela 2005; Gilbert 2005). Taulukossa 3.1 esitellään eri mallit lyhyesti. Kemian opetuksessa jonkin ilmiön tai asian mallit esitellään käyttäen yhtä tai useampaa viidestä esitystavasta, jotka ovat konkreettinen, verbaalinen, symbolinen, visuaalinen ja eleellinen (taulukko 3.1). Mentaalimallia ei kuitenkaan voi esittää konkreettisesti. Kemiassa käytetään eniten konkreettisia, visuaalisia ja symbolisia esitystapoja. (Aksela 2005; Gilbert 2005)

Taulukko 3.1 Kemian ja kemian opetuksen erilaiset mallit ja esitystavat (mukaillen Aksela 2005; Aksela & Montonen 2007; Gilbert 2005)

MALLIT	ESITYSTAVAT
Mentaalimalli Henkilökohtainen mielikuva tietystä asiasta; muodostunut yksin tai ryhmässä (esim. mielikuva atomista)	Konkreettinen Kolmiulotteinen esitys, joka on tehty jostakin materiaalista (esim. muovinen pallotikkumalli)
Ilmaistu malli Mentaalimalli, jonka yksilö on esittänyt julkisesti (suullisesti tai kirjallisesti)	Verbaalinen Kirjoitettu tai puhuttu esitys (esim. ilmiöön liittyvät metaforat ja analogiat)
Konsensusmalli Jonkin sosiaalisen ryhmän hyväksymä ilmaistu malli	Symbolinen Esitys, joka sisältää kemiallisia symboleita, kaavoja ja matemaattista esitystä (esim. reaktionopeuslait)
Tieteellinen malli Tieteellisen yhteisön hyväksymä malli (esim. Schrödingerin atomimalli)	Visuaalinen Kuvia, diagrammeja ja animaatioita hyödyntävä esitys (esim. kemiallisten rakenteiden 2D- ja 3D-mallit sekä animaatiot)
Historiallinen malli syrjäytetty tieteellinen malli (esim. Bohrin atomimalli)	Eleellinen Kehon liikkeistä koostuva esitys (esim. kädet)
Opetussuunnitelmamalli Konsensusmallin versio, joka sisältyy kemian opetussuunnitelmaan	
Opetusmalli Malli, joka luodaan tukemaan opetussuunnitelman mukaista opetusta	
Pedagoginen malli Malli, jota opettaja käyttää luokkahuoneessa	
Hybridimalli Opetusmalli, joka on muodostunut useista malleista (esim. atomirakenteen opetuksessa Bohrin malli ja Schrödingerin malli)	

Visuaaliset mallit kemiassa

Kemiassa käytetään paljon visuaalisia malleja havainnollistamaan yhdisteiden rakenteita (mikroskooppista tasoa). Visuaalinen malli voidaan esitellä verbaalisesti, ja siihen voidaan yhdistää symbolista esitystä esimerkiksi kaavojen muodossa. Visuaalisia malle-

ja ovat 2D-mallit, 3D-mallit, videot, animaatiot ja simulaatiot sekä lisäksi esimerkiksi kaaviot, taulukot ja diagrammit.

Aineiden rakenteita visualisoidaan 2D- ja 3D-mallien avulla. Ne auttavat hahmottamaan molekyylien rakenteita ja sidosten vaikutuksia molekyylin eri osien suuntautumiseen luonnossa, ja sitä kautta ymmärtämään niiden kykyä reagoida toisten molekyylien kanssa. 2D-malleja ovat molekyylikaavat ja rakennekaavat. Rakennekaava esittää tarkasti aineen molekyyli-rakenteen. Rakennekaavoja ovat sahapukkimalli, viivamalli ja VSEPR-malli (a valence shell electron pair repulsion model). Suurikokoisten orgaanisten molekyylien rakenteita esitetään usein myös erilaisten geometrinen kuvien, kuten monikulmioiden avulla. 2D-mallien avulla pyritään ennustamaan molekyylien kolmiulotteista rakennetta.

3D-mallit voidaan jakaa konkreettisiin ja virtuaalisiin 3D-malleihin. Konkreettisia 3D-malleja ovat pallo-tikkumallit, jotka ovat kuitenkin usein isojen orgaanisten molekyylien kohdalla epäkäytännöllisiä ja työläitä rakentaa. Pallotikkumalleja rakennetaan usein muovisista erivärisistä palloista ja tikuista, joita valmistetaan kaupallisesti tähän tarkoitukseen. Tietokoneella tehtyjä, virtuaalisia 3D-malleja voidaan esittää monella tapaa, kuten tikkumalleina, pallo-tikkumalleina, kalottimalleina ja orbitaalimalleina. Virtuaaliset 3D-mallit mahdollistavat molekyylin pyörittämisen, ja näin rakenteen tutkimisen eri puolilta molekyyliä. Ne antavat oppijalle nopeasti käsityksen yhdisteen kolmiulotteisesta rakenteesta ja kemiallisten ryhmien avaruudellisesta suuntautumisesta.

Animaatio on kuvasarja, joka koostuu yksittäisistä ruuduista. Kun animaatio näytetään määrättyllä nopeudella, vaihtuvat kuvat luovat illuusion liikkeestä. Kemian reaktioita voidaan havainnollistaa animaatioilla. Tällöin animaatio koostuu kuvista, jotka esittävät reaktion vaihe vaiheelta. Esimerkiksi orgaanisten reaktioiden reaktiomekanismien esittäminen animaatioilla konkretisoi oppijoille reaktion etenemisvaiheet. Animaation etuna on mahdollisuus pysäyttää animaatio tai kelata sitä taakse- ja eteenpäin.

Simulaatio on tietokoneelle tehty malli todellisesta tapahtumasta, kemiassa esimerkiksi liuoksen pH:n muuttumisesta ja sen tutkimisesta. Simulaatio on valmiin datan ajamista; tosin käyttäjä voi antaa erilaisia herätteitä ja näin ohjata simulaation toimintaa. Edellä esitetty kuva 3.2 on kuvakaappaus simulaatiosta, jossa käyttäjä voi tutkia esimerkiksi eri vahvuisten happo- ja emäsluosten mikrotason koostumusta ja pH:n vaihteluita. Hyvin tehdyt opetussimulaatiot tukevat ilmiöpohjaisen oppimisen teoriaa (luku 2.1.5), sillä niiden tarkoituksena on, että oppilas oivaltaa ilmiön takana olevat teoreettiset lähtökohdat itse simuloimalla. Kemiassa esimerkiksi liuoksen värin vaihtumisesta voisi tehdä simulaation, jota käyttämällä opiskelija selvittäisi syyn liuoksen värin muuttumiseen.

3.3 Tieto- ja viestintätekniiikan käyttö kemian opetuksessa

Tieto- ja viestintäteknikka (TVT) on kiinteä osa nykyhetken opiskelua. Kuitenkin se, parantaako TVT todella oppimistuloksia, on edelleen aktiivisena tutkimuskohteena (Pernaa & Aksela 2013). TVT kehittyy nopeasti, ja tästä syystä tutkimusten tuloksiin tulee suhtautua kriittisesti. Tähän mennessä tehtyjen tutkimusten perusteella voidaan kuitenkin todeta, että opettajien ja oppijien suhtautuminen TVT:a kohtaan on myönteinen. Toisaalta samaan aikaan moni opettaja ja oppija epäilee TVT:n todellista hyötyä oppimisessa. TVT on sidoksissa muihin oppimiseen vaikuttaviin tekijöihin, kuten motivaatioon, yhteistyötaitoihin ja tietotekniikan hallintaan, ja siksi sen vaikutuksia oppimistuloksiin on usein vaikea tunnistaa. (Opetushallitus 2011) Lisäksi on huomioitava, että TVT:a tulee osata käyttää oppiainekohtaisten vaatimusten mukaan, jotta sen käytöstä voi olla hyötyä oppimisessa. Kemian opetuksessa oppimisympäristöjen kehittäjien tulee ymmärtää, millainen tiede kemia on ja millaisia mahdollisuuksia TVT tarjoaa kemian opetukselle (Pernaa & Aksela 2013).

Tieto- ja viestintäteknikka on keskeisessä roolissa kemian opetuksessa, sillä tietokoneita tarvitaan kemiallisen tiedon visualisoimiseen. TVT:n avulla voidaan yhdistää kemian kokeellisuus ja mallintaminen, mikä selkeyttää teorian ja käytännön välistä rajapintaa, ja auttaa opiskelijoita käsittelemään mikroskooppisen tason ilmiöitä. Tietokoneet mahdollistavat makroskooppisen, mikroskooppisen ja symbolisen tason samanaikaisen käsittelyn, mikä auttaa opiskelijoita muodostamaan yhteyksiä eri tasojen välille ja näin kehittämään mentaalimallejaan (Pernaa 2010). Kemian opetuksen kannalta TVT:n hyödyntämisessä avainasemassa ovat monipuoliset visualisointityökalut. TVT:a hyödyntäviä kemian opetuksen työkaluja ovat mm. mittausautomaatiivälineet, molekyyylimallinnus, videot, animaatiot ja simulaatiot. Kun TVT:a käytetään kokeellisen tiedon keräämisessä, analysoimisessa ja esittämisessä, on kyse mittausautomaatiosta. (Pernaa & Aksela 2013) Luvussa 3.5 käsitellään tarkemmin animaatioita ja muita visualisointityökaluja.

Tieto- ja viestintätekniiikan käyttö kemian opetuksessa on yleistynyt ja monipuolistunut merkittävästi 2000-luvulla monipuolisten visualisointityökalujen yleistyessä. 2010-luvulla yhä yleistyvät mobiililaitteet ovat kuitenkin asettaneet uusia teknologisia vaatimuksia. Tähän mennessä kehitetyt mobiilisovellukset eivät ole yhtä kattavia kuin tietokoneelle asennettavat ohjelmistot ja eivät näin täysin vastaa kemian opetuksen visualisoinnin tarpeita. Mobiililaitteiden määrän on arvioitu kasvavan, joten tarve niiden tehokkaalle hyödyntämiselle opetuksessa tulee sekin kasvamaan. (Pernaa & Aksela 2013)

Yhä lisääntyvien sähköisten visualisointityökalujen edessä on haastavaa löytää tai luoda tarkoitukseen sopivin vaihtoehto. Pernaa ja Aksela (2013) ovat luoneet sähköisten kemian oppimisympäristöjen käyttäjälle ja kehittäjille kolme ohjetta, joissa he painottavat

sopivan teknologian valitsemista, kemian opetuksen ja oppimisen tarpeiden huomioimista, sekä mobiililaitteiden ja uusien sovellusten mahdollistamaa monipuolisten työtapojen käyttöä.

Sähköistä kemian oppimisympäristöä luodessaan tai valitessaan on tärkeää tutustua huolella eri vaihtoehtoihin ja pohtia niiden hyviä ja huonoja ominaisuuksia oman käyttötarkoituksen kannalta. Pernaa ja Aksela suosittelevat huomioimaan, että Java on maailman käytetyin ohjelmointikieli ja Android vuonna 2017 suurin käyttöjärjestelmä. Toiseksi ei tule unohtaa kemian opetuksen ja oppimisen tarpeita, vaan on muistettava, että kemiallinen tieto on monimuotoista, ja siitä syystä omien mallien rakentelu, testaaminen ja monipuolinen sosiaalinen vuorovaikutus kuuluvat kiinteänä osana kemian oppimiseen. Myös tutkimus- ja ajattelutaitojen kehittäminen on tärkeää. Tieto- ja viestintätekniikan osaavalla hyödyntämisellä ja tarkoitukseen sopivalla käytöllä mahdollistetaan mielekäs oppiminen (Aksela 2005). TVT vapauttaa opetuksen osittain ajan ja paikan kahleista, ja mahdollistaa eriyttämisen opetuksessa, jolloin sosiaalinen vuorovaikutus monipuolistuu ja oppijan oma motivaatio oppia kasvaa. Uusien taitojen kehittyminen avaa mahdollisuuden soveltaa oppimista omien tarpeiden mukaisesti, mikä edistää opiskelijan arvostusta omaa oppimistaan kohtaan ja saa hänet panostamaan enemmän oppimiseensa. (Pernaa & Aksela 2013)

Kemian sähköisten oppimisympäristöjen luomisessa on tärkeää muistaa, että itsessään pelkkä sähköinen oppimisympäristö ei tehosta opiskelijoiden oppimista. Sen tulee olla hyvin suunniteltu, toteutettu ja testattu ennen opetukseen mukaan ottamista. Opettajan tulee perehtyä hyvin kemian sovelluksiin, joita hän haluaa tuoda opetukseensa mukaan. On tärkeää, että oppimisympäristö tukee tehokkaasti oppimista eikä aiheuta virhekesityksiä. Liian haastava oppimisympäristö ei tue opiskelijoiden tiedon rakentumista, sillä he eivät kykene yhdistämään uutta tietoa aikaisempiin tietoihinsa. He eivät osaa prosessoida uutta tietoa oikein, mikä mahdollistaa virhekesitysten synnyn.

3.4 Visualisointi

Visualisointi-käsitettä käytetään monissa merkityksissä. Luonnontieteissä visualisoinnilla on kolme eri merkitystä: visualisointi ulkoisena esityksenä, visualisointi sisäisenä tulkintana ja avaruudellinen hahmotuskyky. Ulkoisella visualisoinnilla (*engl. visualization as external representations*) tarkoitetaan näkyvää informaatiota, joka koostuu erilaisista visuaalisista malleista kuten kuvista, taulukoista, diagrammeista, malleista, simulaatioista ja animaatioista. Ne ovat semanttisesti rikkaita sisältäen kompleksisia, alakohtaisia, symbolisia merkityksiä. (Gobert 2005)

Sisäinen visualisointi (*engl. visualization as internal representations*) rakentuu oppijan mielessä. Sitä ovat muistomme, kokemuksemme ja odotuksemme jostakin ilmiöstä. Visualisointi sisäisenä tulkintana voidaan jakaa kolmeen kategoriaan:

- 1) *Visuaalisesta muistista* on kaksi muotoa; se, mitä tallentuu hetkellisesti työmuistiin havaitusta ilmiöstä ja se, miltä jokin näyttää pitkäaikaisesta muistista haettuna.
- 2) *Visuaaliset kuvat* ovat monella tapaa samanlaisia kuin pitkäkestoinen visuaalinen muisti. Visuaalinen kuva on sisäisesti luotu visuaalinen kokemus nähdystä. Se konstruoituu pohjautuen tietämyksemme ilmiöstä.
- 3) *Tiedon tulkitsemisessa* on kyse sen lisäksi, miltä jokin näyttää, visualisoinnin kohteen erilaisten ominaisuuksien ja niiden suhteiden käsittelystä, johon liittyy usein myös tilannekohtaisen informaation tulkintaa. (Rapp & Kurby 2008)

Visualisointi-sanaa käytetään myös kuvailemaan avaruudellista hahmottamisen taitoa (*visualization as a spatial skill*). Ekstrom, French, Harman & Dermen (1976) määrittelevät visualisoinnin kyvyksi käsitellä ja muokata kuvaa tai avaruudellista mallia eri asennoissa.

Visualisointi-sanan kolme eri käyttötapaa eivät kuitenkaan ole toisiaan poissulkevia prosesseja (Gobert 2005). Esimerkiksi opiskelijan opiskellessa ulkoisen visualisoinnin, kuten animaation avulla, hän rakentaa ilmiöstä mentaalimallin käsittelemällä ja tulkitsemalla ilmiötä. Tähän rakennusprosessiin voi vaikuttaa merkittävästi myös avaruudellinen hahmottamisen taito eli se, kuinka hyvin opiskelija pystyy mielessään hahmottamaan aineiden kolmiulotteisia rakenteita.

3.4.1 Metavisualisointi

Visualisointitaitojen sujuva käyttö vaatii metakognitiotaitoja (*engl. metacognition*); kykyä ymmärtää ja ohjata omaa ajatteluaan. Visualisointiin liittyvistä metakognitiotaidoista käytetään nimitystä metavisualisointi (*engl. metavisualization*). (Gilbert 2005) Gilbertin (2005) mukaan metavisualisoinnin olemassaolo perustuu kolmeen teoriaan: yleiseen avaruudellisen hahmottamisen älykkyyteen, yleiseen muistin toimintamalliin ja visualisoinnin keskeiseen rooliin ajattelussa.

Avaruudellisen hahmottamisen älykkyydelle keskeistä on kyky havainnoida visuaalista maailmaa tarkasti ja muokata havaintoa visuaalisella kokemuksella, myös ilman fyysistä ärsykettä (Gardner 1983). Muistin toimintamallissa (Nelson & Narens 1994) on kyse objektitason ja metatason välisestä kommunikoinnista. Visuaalinen havainto antaa tietoa havainnoitavasta kohteesta. Metatasolla havaittua tietoa kontrolloidaan; sitä verrataan jo

olemassa olevaan tietorakenteeseen, ja tietorakenne joko säilytetään muuttumattomana tai sitä muokataan uuden tiedon valossa. Objektitason visuaalinen havainnointi ja metatason kontrolli tapahtuvat samanaikaisesti. Visualisointikyky vaikuttaa myös ajatteluun; päättelyyn, fyysisten taitojen oppimiseen, verbaalisten kuvausten ymmärtämiseen ja luovuuteen (Peterson 1994). (Gilbert 2005)

Metavisualisointitaitojen kehittyessä opiskelija:

- kykenee yhä paremmin ohjaamaan sisäistä tulkintaprosessiaan. Hänen luottamuksensa omiin visualisointitaitoihin kasvaa ja hän kykenee arvioimaan omia taitojaan.
- pystyy yhä paremmin muistamaan mentaalimallejaan ja niiden yhteyksiä visuaaliseen havaintoon.
- tulee yhä luottavaisemmaksi sitä kohtaan, että mentaalimalli on palautettavissa mieleen täsmällisenä.
- kykenee yhä paremmin tietoisesti korjaamaan työmuistiin palauttamaansa mentaalimallia tiettyyn tarkoitukseen sopivaksi. Tämä kyky johtaa tietoiseen ulkoisten visualisointien korjaamiseen. (Gilbert 2008)

Metavisualisointitaitojen kehittymistä voidaan tukea luomalla opiskelijoille tasaisesti mahdollisuuksia sekä kehittää sisäistä visualisointiaan että ilmaista niitä ulkoisina visualisointeina. (Gilbert 2008)

3.4.2 Visualisointitaidot ja niiden kehittäminen kemian oppimisessa

Kokeneilla kemisteillä on kyky ”nähdä” mielessään aineiden rakenteita ja niiden muutoksia. He myös konstruoivat, muokkaavat ja hyödyntävät laajasti erilaisia ulkoisia visualisointeja. Kemisti kykenee spontaanisti piirtämään yhtälöitä, kaavioita ja rakenteita kuvatakseen visuaalisesti sisäisten malliensa osia, koostumuksia ja yhdisteiden rakenteita. Kemistin tavat visualisoida kemiallisia asioita eroavat merkittävästi tavoista, joilla opiskelijat tekevät tulkintojaan (Kozma & Russell 2005). Heidän kykynsä käyttää ja ymmärtää erilaisia visualisointimuotoja eivät ole niin kehittyneet. Saavuttaakseen kemistin kyvyn visualisoida hyvät visualisointitaidot ovat tärkeitä jo kemian opiskelussa. Kuitenkin vielä yliopistotasolla opiskelijoilla ilmenee ongelmia näissä taidoissa. Wy & Shah (2004) listaavat merkittävimmät heikkojen visualisointitaitojen aiheuttamat ongelmat kemian opiskelussa. Ensinnäkin opiskelijat tuntevat vaikeaksi mikroskooppisen ja symbolisen tason käsittelyn. Erityisesti vaikeuksia tuottavat reaktion mikrotason tulkitseminen. Toiseksi annetun molekyylin liikuttelu eri ulottuvuuksien ja esitystapojen välillä ei onnistu ongelmitta.

Saavuttaakseen hyvät visualisointitaidot opiskelijan tulee kyetä ymmärtämään eri ulottuvuuksissa olevien kemian esitysten erilaiset esitystavat ja -tasot ja niiden rajat; mitä ne voivat kuvata ja mitä eivät, muokkaamaan malleja ulottuvuudesta ja esitystavasta toiseen, vaihtamaan mielessään kolmiulotteisen mallin tarkasteluperspektiiviä ja johtamaan kolmiulotteiselle mallille peilikuva. Lisäksi opiskelijan tulee osata soveltaa annettuun tarkoitukseen oikeaa esitystapaa ja -tasoa sekä ratkaisemaan ongelmia jo tunnetun mallin avulla. (Barnea 2000; Gilbert 2005)

Opiskelijoiden visualisoinnin kehittämisessä keskeistä on avaruudellisen hahmottamisen taidon kehittäminen. Gilbertin (2008) mukaan opiskelijoiden visualisoinnin kehittymistä tukevat:

- eri mallien ja esitystasojen selkeä esittäminen opetettaessa tiettyä aihetta.
- analogian periaatteiden selkeä opettaminen. Tämä auttaa opiskelijoita ymmärtämään, kuinka yksittäinen malli kehitetään ja kuinka sen muokkaaminen eri esitystasojen välillä tapahtuu.
- uuden asian esittämisen aloittaminen geometrisesti mahdollisimman yksinkertaisilla muodoilla, jolloin opiskelijoilla on mahdollisuus orientoitua (Hearnshaw 1994).
- mahdollisimman monien esitystapojen ja – tasojen käyttäminen esittelemällä ne tarkoituksellisesti, systemaattisesti ja rauhallisesti. Tämä auttaa opiskelijoita kytkemään esitystapoja toisiinsa ja aikaisempaan tietoonsa (Hearnshaw 1994).
- muotojen, reunojen, varjostuksien ja kuvioiden tärkeyden korostaminen, jolloin opiskelija hahmottaa visualisoinnin rakenteen (Hearnshaw 1994).
- valo- ja väriefektien käyttäminen kontrastien erottamisen helpottamiseksi (Hearnshaw 1994).
- kolmiulotteisen visualisoinnin esittäminen painottamalla yhtä ominaisuutta kerralla.
- pyörimisen ja heijastumisen systemaattinen opettaminen kuvasarjan, kuten animaation avulla.
- virtuaalisten toimintaympäristöjen käyttäminen.
- multimediasovellusten selkeä ja monipuolinen käyttäminen. Verbaalisen ja visuaalisen esityksen samanaikaisuus tehostaa oppimista (Mayer 1997).

Kemian opiskelijoiden visualisointitaitojen kehittymisen tukemisessa on tärkeää, että käytetyt keinot ovat tarkoitukseensa sopivia ja toimivia. Kemian oppimateriaalit sisältävät paljon visuaalisia malleja (ulkoisia visualisointeja), joiden tarkoituksena on tukea opiskelijan sisäistä visualisointia. Visuaalisia malleja kuten esimerkiksi kuvia, animaatioita ja simulaatioita suunnitellessa tulee muistaa, että huonosti suunniteltu ja toteutettu visuaalinen malli ei tue opiskelijan tiedon rakentumista vaan voi johtaa virhekäsityksiin. Tehokkaat mallit ottavat huomioon ihmisen havainto- ja kognitiiviset valmiudet (Tvers-

ky 2005). Niissä on esitetty vain asian oppimisen kannalta olennainen ja jäsennetty se helposti havaittavaksi ja ymmärrettäväksi. Selkeys on ulkoisen visualisoinnin tehokkuuden edellytys. On myös tärkeää opettaa opiskelijoille, kuinka erilaisia visuaalisia malleja tulkitaan. Muuten opiskelija saattaa tehdä vain visuaalisen havainnon, mutta hän ei kykene tulkitsemaan sitä sisäisesti (Uttal & Doherty 2008). Hän ei siis opi sitä, mitä visuaalinen malli pyrkii opettamaan. Visuaalinen malli ei usein yksin ole riittävä, vaan tarvitsee hyvän verbaalisen esityksen rinnalleen (Uttal & Doherty 2008).

3.5 Animaatiot ja muut ulkoisen visualisoinnin tavat

Kemian oppiminen perustuu paljolti visualisointiin, ja siksi sen opetuksessa hyödynnetään paljon erilaisia visualisointityökaluja. Yhä teknologisoituvassa maailmassa tieto- ja viestintätekniikan merkitystä opetuksen osana korostetaan, ja sen myötä kemian molekyylihallinnusohjelmien, animaatioiden, simulaatioiden ja videoiden tarjonta ja kysyntä ovat lisääntyneet ja lisääntyvät edelleen. Tässä luvussa luodaan lyhyt katsaus näihin eri visualisointityökaluihin korostaen animaatioita ja niiden suhdetta muihin visualisointikeinoihin.

3.5.1 Molekyylihallinnus

Molekyylihallinnus on perinteisesti yksittäisten molekyylien mikrotason mallintamista (Pernaa 2010). Ennen tietokoneilla mahdollistettua molekyylihallinnusta molekyyleistä rakennettiin konkreettisia malleja molekyylien mikrotason kolmiulotteisuuden havainnollistamiseksi. Nykyään molekyylihallinnusohjelmilla voidaan esittää visuaalisesti elektronitiheyksiä, elektrostaattisia potentiaalipintoja, atomi- ja molekyyliorbitaaleja sekä molekyylien värähdyksiä (Kozma & Russell 2005). Opetuskäytössä molekyylihallinnusta käytetään eniten yksittäisten molekyylien rakenteiden ja ominaisuuksien tutkimiseen (Pernaa 2010).

Useimmat molekyylihallinnusohjelmat mahdollistavat molekyylien rakentamisen atomeista, energieettisesti suotuisimman rakenteen etsimisen, sidospituuksien ja -kulmien määrittämisen sekä visualisoinnin muokkaamisen. Myös rakennetun mallin pyörittäminen ja sen kolmiulotteisen rakenteen tutkiminen eri kuvakulmista on mahdollista. Molekyylihallinnus sallii kemistin tutkia molekyylin reaktiivisia kohtia ja pohtia reaktiomekanismeja, mikä tukee laboratoriossa tehtävää synteesityöskentelyä (Kozma & Russell 2005).

Kansainvälisesti molekyylihallinnus on jo kiinteä osa yliopistojen kemian opetusta ja tutkimusta. Molekyylihallinnuksella tehtyt visualisoinnit ovat yleisimpiä orgaanisessa kemiassa käsittäen visualisointeja kirjallisuuden kuvista aina isoihin molekyyli tietokantoihin. Dori, Barak ja Adir (2003) tutkivat, kuinka itsenäinen molekyylihallinnustehtä-

vien teko parantaa oppimistuloksia. 215 yliopisto-opiskelijasta 95 opiskelijaa tekivät vapaaehtoisesti molekyylihallinnustehtäviä kurssin aikana ja pärjäsivät kurssin loppukokeessa merkittävästi paremmin kuin muut opiskelijat. Tulos tukee ajatusta siitä, että molekyylihallinnus auttaa kemian käsitteiden opettamista ja oppimista. Kozman ja Russellin (2005) mukaan molekyylihallinnus tukee myös laboratoriotyöskentelyä. He lisäsivät orgaanisen kemian laboratoriokurssiin molekyylihallinnusta, jossa opiskelijoiden piti rakentaa ja analysoida samoja yhdisteitä kuin he olivat syntetisoineet laboratoriossa. Molekyylihallintaminen lisäsi opiskelijoiden kykyä keskustella kemiallisista käsitteistä, kuten atomeista, sidoksista, elektronegatiivisuudesta ja dipolimomentista.

3.5.2 Animaatiot, videot ja simulaatiot

Molekyylihallinnuksessa on kyse yksittäisten molekyylien visualisoinnista, kun animaatiot, videot ja simulaatiot kuvaavat dynaamisia kemiallisia prosesseja tai systeemiä. Videolla voidaan esittää makrotason, animaatiolla mikrotason ja simulaatiolla molempien tasojen ilmiöitä.

Videoiden avulla voidaan opettaa opiskelijoille, kuinka jokin ilmiö etenee makrotasolla eli silmin havaittavasti. Video on aikaa säästävä, turvallinen kemian demonstrointiväline (Laroche, Wulfsberg & Young 2003; Pernaa 2013). Kemian kokeellinen työskentely voidaan korvata joskus katsomalla videolta työn suoritus. Myös erittäin nopeiden tai hitaiden ilmiöiden videoiminen ja videon nopeuttaminen muutama minuutti antaa mahdollisuuden näiden ilmiöiden havainnointiin.

Simulaatiot käsittelevät usein yksittäistä molekyyliä isompia systeemiä ja perustuvat valmiiseen dataan. Ne sallivat käyttäjän valita arvoja sopivalta väliltä ja määrittävät tulokset syötetyillä arvoilla. Kemian simulaatioissa käyttäjä voi muuttaa esimerkiksi kaasumaisen systeemin painetta tai nestemäisen systeemin lähtöaineiden konsentraatioita. Simulaatioita voidaan käyttää kemiallisten prosessien tai systeemien tutkimiseen, kun johdetaan tai testataan mahdollisia taustalla olevia selityksiä tai teoreettisia malleja. Kemian simulaatiot käsittelevät esimerkiksi reaktiokinetiikkaa, reaktiotasapainoa ja happo-emästitrauksia. (Kozma & Russell 2005)

Kemian animaatiot ovat dynaamisia, usein kolmiulotteisia, mikrotason visuaalisia esityksiä kemiallisista prosesseista tai systeemeistä. Ne koostuvat usein yksittäisistä palloista tai pisteistä, tai niiden ryhmistä, jotka esittävät yksittäisiä molekyyliä. Molekyylit liikkuvat, törmäävät toisiinsa ja reagoivat. Simulaatioiden tulokset näytetään usein animaatioina. Animaatioiden ja simulaatioiden erona kuitenkin on se, että simulaatioilla voidaan jäljitellä ja tutkia laboratoriokokeita muuttujien arvoja vaihdellen, kun animaatiot ovat vain mikrotason esityksiä simulaation ajamista tuloksista. Animaatio ei ole interaktiivinen kuten simulaatio, joten käyttäjä ei voi muuttaa animaation muuttujia. (Kozma & Russell 2005)

Useimmissa tutkimuksissa animaatioita on käytetty ”elokuvinä”, jotka valaisevat kemian tiettyjä käsitteitä, eikä simulointien tulosten esittäjinä. Esimerkiksi Yang, Greenbowe ja Andre (2004) käyttivät mikrotason animaatioita hapetus-pelkistysreaktioiden ja taskulampun kuivaparipariston ionien ja elektronien liikkeen esittämisessä opettaessaan sähkökemiallisia kenoja ja sähkövirtapiirejä. Koeryhmän opiskelijat tutkivat animaatioiden avulla taskulampussa ilmeneviä kemiallisia ja fysikaalisia prosesseja. Opiskelijat pystyivät zoomaamaan animaatioita voidakseen tarkastella yksittäistä paristoelektrodia, sekä tauottamaan ja katsomaan animaatioita uudelleen. Tulokset osoittivat hyvin suunniteltujen animaatioiden tehokkuuden opiskelijoiden kemiallisten käsitteiden oppimisessa.

3.6 Animaatiot oppimisen tukena

Mikroskooppista maailmaa ei voi silmin havaita, joten tarvitaan erilaisia visuaalisia malleja havainnollistamaan mikrotason ilmiöitä. Animaatiot ovat yksi tapa auttaa opiskelijoita työskentelemään paremmin kemian mikroskooppisella tasolla. Niiden avulla pystytään havainnollistamaan esimerkiksi kemiallisen reaktion etenemistä. Toisin kuin oppikirjojen painetut reaktiomekanismit, animaation avulla reaktio voidaan esittää jatkuvana ja usein kolmiulotteisena, kuten se luonnossa ilmenee. Animaatiolla saadaan paremmin esiin myös atomien ja molekyylien väliset vuorovaikutukset, jotka johtavat kemialliseen reaktioon. Ymmärtääkseen makrotason ilmiöiden syitä, tulee ymmärtää, mitä ilmiöiden takana mikrotasolla tapahtuu.

Animaatio on mallintajan näkemys kemiallisesta prosessista tai systeemistä ja on siten erittäin herkkä mallintajan osaamiselle. Siksi pedagogisesti toimivan animaation tekeminen on haastavaa. Mielekästä oppimista tukevissa animaatioissa:

- yhden tapahtuman kuvaus on kestoaltaan lyhyt (20 - 60 sekuntia).
- sisältö on virheetön ja täsmällinen (minimoidaan virhehäsitysten syntyminen).
- sisältö perustuu tutkimuskirjallisuuteen.
- ymmärtämistä tuetaan verbaalisella esityksellä.
- animaatiota käytetään yhdessä demonstraation kanssa (autetaan oppijia luomaan siltoja kemian eri tasojen välille).
- käyttöliittymä on selkeä ja monipuolinen.
- animaatio on testattu hyvin kohderyhmillä. (Burke, Greenbow & Windschitl 1998; Pernaa 2013)

Hyvin toteutettujen animaatioiden tarkastelu kehittää opiskelijoiden taitoja työskennellä kemian kolmella eri tasolla sekä kehittää heidän mentaalimallejaan dynaamisemmiksi. (Velaázquez-Marcano, Williamson, Ashkenazi, Tasker & Williamson 2004)

3.6.1 Animaatiot kiinnostuksen herättäjinä

Kiinnostuksella on aina kohde. Kemiassa kiinnostuksen kohde voi olla uusi opittava asia, jonka opiskelija haluaa ymmärtää. Ympäristö vaikuttaa kiinnostuksen syntymiseen, ja myös sen kehittymiseen tarvitaan ympäristön tukea (Lindblom-Ylänne ym. 2009). Esimerkiksi opiskelijan kiinnostus orgaanista kemiaa kohtaan voi olla lähtöisin yliopiston peruskurssilta, jossa innostava opetus sai opiskelijan kiinnostumaan aiheesta.

Kiinnostus voidaan jakaa tilannekohtaiseen ja henkilökohtaiseen kiinnostukseen (Krapp, Hidi & Renninger 1992). Tilannekohtainen kiinnostus liittyy yksittäiseen tilanteeseen tai tiettyyn kohteeseen. Kemiassa tällainen kiinnostus voi herätä esimerkiksi luennolla esitettävää animaatiota kohtaan, ja sitä kautta käsiteltävää aihetta kohtaan. Tilannekohtainen kiinnostus pitää sisällään joko positiivisen tai negatiivisen tunnereaktion, joka joko säilyy tai häviää (Lindblom-Ylänne ym. 2009).

Animaatioilla on kemian opetuksessa rooli kiinnostuksen herättäjinä. Pedagogisesti toimivat animaatiot saavat opiskelijan keskittymään käsiteltävään aiheeseen sekä synnyttävät opiskelijassa positiivisen tunnereaktion. Aihetta kohtaan syntyy tilannekohtainen kiinnostus, joka ylläpitää opiskelijan halua keskittyä aiheen opiskeluun ja oppimiseen hetkellisesti, esimerkiksi luennon ajan.

Jos tilannekohtainen kiinnostus käsiteltyä aihetta kohtaan säilyy yli luennon ja kurssin, alkaa kehittyä henkilökohtainen kiinnostus. Henkilökohtaisen kiinnostuksen syntyessä lisääntyy halu oppia lisää kiinnostuksen kohteesta ja kehittyä sen mukana. Tällainen pysyvä kiinnostus ilmenee usein haluna hakeutua kiinnostuksen kohteen pariin, kuten asiaa käsitteleville kursseille. Henkilökohtainen kiinnostus on myös usein tekijänä pääaineen valinnassa. (Lindblom-Ylänne ym. 2009)

Kun animaatioita käytetään kemian opetuksessa, on tarkoitus saada opiskelija ymmärtämään käsiteltävä aihe ja herättää opiskelijassa sitä kautta positiivisia kiinnostuksen tunteita; halua tutustua aiheeseen syvemmin ja oppia lisää. Esimerkiksi orgaanisen kemian peruskurssilla pedagogisesti toimivat animaatiot voivat tukea opiskelijan ymmärrystä ja henkilökohtaisen kiinnostuksen rakentumista, ja näin saada opiskelijan valitsemaan jatkossa orgaanisen kemian opintoja.

3.6.2 Animaatiot – tehokkaita opetuksen apuvälineitä

Opiskelijoiden virhekäsitykset johtuvat usein kykenemättömyydestä visualisoida rakenteita ja prosesseja mikroskooppisella tasolla. Mikromailma on dynaaminen, joten on perusteltua olettaa animaatioiden olevan staattisia esityksiä tehokkaampia kuvaamaan tätä maailmaa (Tasker & Dalton 2006). Animaatioiden tehokkuutta opetuskäytössä on tutkittu, ja tulokset ovat olleet positiivisia. Esimerkiksi Sanger, Phelps ja Fienhold

(2000) tutkivat opiskelijoiden oppimiseroja kaasujen käyttäytymistä opiskeltaessa. Testiryhmän opiskelijat katsoivat aiheeseen liittyvän animaation, johon oli yhdistetty verbaalista esitystä sekä makro- että mikrotasolla. Kontrolliryhmälle animaatiota ei esitetty. Testiryhmän opiskelijat ymmärsivät merkittävästi paremmin demonstraation, joka käsiteltiin myös kontrolliryhmän luennolla ilman animaatiota.

Toisessa tutkimuksessa (Sanger & Badger 2001) testiryhmän opiskelijat saivat opetusta ja heille näytettiin demonstraatioita polaaristen, polaarittomien ja ionien sekoittuvuudesta täydennettynä sekä molekyylien välisiä vetovoimia esittävillä mikrotason animaatioilla että kaksiulotteisina kuvina elektronitiheydestä, jossa käytettiin värejä esittämään molekyylien polaarisia alueita. Kontrolliryhmän opiskelijat saivat saman opetuksen, mutta he käsitelivät demonstraatiot ilman animaatioita ja kaksiulotteisia kuvia. Testiryhmässä olleet opiskelijat menestyivät huomattavasti paremmin kokeessa, jossa tuli tunnistaa polaarisia molekyyliä, tehdä ennusteita yhdisteiden sekoittuvuudesta ja perustella vastauksensa.

Williamson ja Abraham (1995) esittävät, että animaatioiden käyttö auttaa käsitteiden ymmärtämistä tukemalla dynaamisten mentaalimallien muodostumista, toisin kuin kuvat, jotka joko edistävät staattisen mallin muodostumista tai eivät auta lainkaan opiskelijoita muodostamaan minkäänlaista mentaalimallia. Animaatiot voivat auttaa opiskelijoita ymmärtämään paremmin vaikeita reaktioiden tasapainoon, sähkökemian ja liuoskemian liittyviä käsitteitä. Niitä voidaan käyttää myös tukemaan opiskelijoiden laboratoriotutkimuksia. Animaatiot auttavat opiskelijoita keskustelemaan laboratoriomittauksista ja ymmärtämään tekemäänsä paremmin. (Kozma & Russell 2005)

Animaatiot ovat luonnostaan visuaalisesti monimutkaisempia kuin kuvat. Animaatioiden monimutkaisuus saattaa vähentää niiden tehokkuutta, mikä on niiden opetuskäytön yksi ongelma. Lisäksi pedagogisesti heikot animaatiot voivat aiheuttaa uusia, pysyviä virhekäsityksiä. (Tasker & Dalton 2006)

Jones, Jordon ja Stillings (2001) puolustavat animaatioiden ja simulaatioiden käyttöä. Heidän mukaansa animaatiot ja simulaatiot:

- auttavat opiskelijoita ymmärtämään kemian dynamiikkaa.
- auttavat opiskelijoita kehittämään omia mentaalimallejaan.
- kuvaavat yksinkertaisesti ja kiertelemättä molekyylien välisiä vuorovaikutuksia, joita on muuten haastavaa kuvata selkeästi.

Myös Lowe (2001) toteaa, että animaatiot kykenevät dynaamisuutensa vuoksi esittämään kemian käsitteitä yksityiskohtaisemmin ja tarkemmin kuin kuvat. Mikromaailmaa kuvaavat kolmiulotteiset, dynaamiset animaatiot stimuloivat mielikuvitusta tuoden uuden ulottuvuuden kemian opiskeluun (Tasker & Dalton 2006). Molekyylien avaruudelli-

sen rakenteen hahmottaminen on helpompaa molekyylihallinnuksen ja animaatioiden avulla kuin kaksiulotteisten kuvien perusteella. Oppikirjojen kaksiulotteiset esitykset eivät välttämättä anna opiskelijoille riittävän hyvää kuvaa kolmiulotteisesta tapahtumasta, mikä edesauttaa virheellisten mentaalimallien eli virhekäsitysten muodostumista. Opettajille kaksiulotteisten mallien käyttö on luontevaa ja he kykenevät ongelmitta ennustamaan niiden kautta molekyylien kolmiulotteisia rakenteita (Johnstone 1993). Kuitenkin vain kaksiulotteisten esitysten käyttö tuottaa usein opiskelijoille ongelmia ymmärtää kaksiulotteisen mallin ja kolmiulotteisen rakenteen välistä yhteyttä.

Velazquez-Marcano, V. M. Williamson, Ashkenazi, Tasker ja K. C. Williamson, (2004) osoittivat tutkimuksillaan, että mikrotason animaatiot yhdistettynä makrotason videoihin auttavat opiskelijoita ennustamaan effuusion ja diffuusion seurauksia paremmin kuin animaatio tai video yksin. He huomasivat, että animaation ja videon yhdistäminen auttaa opiskelijoita tulkitsemaan konkreettisia ilmiöitä abstraktein käsittein.

Edellä esitetyt tutkimukset osoittavat, että animaatioita voidaan käyttää tehokkaasti opettaessa kemian ilmiöitä. Ne auttavat opiskelijoita kehittämään taitojaan työskennellä mikroskooppisella tasolla. Mikroskooppisen tason ymmärryso ongelmia ja virhekäsitysten olemassaoloa ei kuitenkaan usein huomata, sillä kokeissa harvat kysymykset testaavat mikrotason ymmärrystä ja yhä harvemmat on suunniteltu tunnistamaan yleisiä virhekäsityksiä (Tasker & Dalton 2006). Tällöin myös helposti pitäydytään vanhoissa opetusmenetelmissä, eikä nähdä tarpeelliseksi lisätä opetukseen uusia esitystapoja, kuten animaatioita.

Taskerin ja Daltonin (2006) mukaan pedagogisesti toimivien animaatioiden käyttö opetuksessa auttaa opiskelijoita:

- rakentamaan tieteellisesti hyväksyttyjä mentaalimalleja kemian mikroskooppisen tason aineista ja reaktioista.
- yhdistämään konstruoimiaan malleja kemian makro- ja symbolisen tason kanssa.
- soveltamaan mallejaan uusiin aineisiin ja reaktioihin.
- käyttämään mallejaan uusien mikrotason kemian käsitteiden ymmärtämiseen.
- keskittymään tavallisiin virhekäsityksiin, jotka on esitelty tutkimuskirjallisuudessa.
- parantamaan heidän kykyjään mikrotason ilmiöiden selittämisessä.
- lisäämään heidän kemian opiskelusta nauttimistaan laittamalla heidät käyttämään mielikuvitustaan ilmiöitä selittäessään ulkoluvun ja mekaanisen ongelmanratkaisun sijasta.

Käyttäkseen animaatioita tehokkaasti opetuksessa tulee opiskelijoiden huomio kiinnittää keskeisiin asioihin, välttää heidän työmuistinsa ylikuormittamista ja tukea uuden tiedon yhdistymistä jo konstruoituun tietoon. Tämä onnistuu käyttämällä konstruktivis-

tisia pedagogisia malleja (luku 2.1), jotka hyödyntävät tietoaamme siitä, kuinka opiskelijat oppivat. Virhekäsitysten juurtuminen opiskelijoiden mieleen pysäyttää käsitteellisen ymmärryksen kehittymisen. (Tasker & Dalton 2006) Siksi on tärkeää, että opettaja tiedostaa yleiset virhekäsitykset ja pyrkii välttämään niiden syntymistä sekä tukemaan jo syntyneiden virhekäsitysten korjaamista. Opiskelijoita tulee kannustaa visualisoimaan mikroskooppista tasoa ja auttaa heitä kohti syvää mikrotason rakenteiden ja prosessien ymmärrystä (Tasker & Dalton 2006).

4 ANIMAATIOIDEN HYÖDYNTÄMINEN TAMPEREEN TEKNILLISEN YLIOPISTON ORGAANISEN KEMIAN OPETUKSESSA

Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) Koulutuksen kehittämisohjelman vuosille 2009 - 2015 tavoitteet ovat opiskelun sujuvoittaminen ja opiskelutaitojen tukeminen (1), opiskelijoiden henkisen kasvun ja tieteellisen ajattelun tukeminen (2), opettajien ammatillisen kehittymisen edistäminen (3) ja koulutuksen johtamisen vahvistaminen (4). Yhdessä näitä tavoitteita tukevaksi toimenpiteeksi määritellään tieto- ja viestintätekniikan (TVT) opetuskäyttö. Koulutuksen kehittämisohjelma velvoittaa yliopiston laitoksia kehittämään pedagogisesti perusteltua TVT:n hyödyntämistä opetuksessa. Opettajien tulee käyttää TVT:a, kuten erilaisia oppimisalustoja, e-sovelluksia, videoteknologiaa, simuloituja ja mallinnuksia, sähköisiä aineistoja tai muita tietoteknisiä välineitä, opetuksessaan. TVT:n opetuskäytöstä kerätään palautetta ja opetusta kehitetään sen mukaan. (Andersson & Reiman 2009)

Yliopiston tutkimusryhmät hyödyntävät monipuolisesti teknologiaa tutkimuksessaan ja kehittävät sitä omilla tutkimusalueillaan eteenpäin. Onkin luonnollista, että koulutuksen kehittämisohjelma korostaa tietoteknisten välineiden hyödyntämistä opetuksessa. Näin kehittämisohjelma antaa perusteen myös animaatioiden opetuskäytölle.

Tässä luvussa tutkitaan animaatioiden luomia mahdollisuuksia kemian opetuksessa ja opiskelussa. Aluksi luodaan lyhyt katsaus kemian opetuksen yleisiin tavoitteisiin, joista nostetaan esille erityisesti orgaanisen kemian oppimistavoitteita. Luvussa 4.2 esitetään perusteita animaatioiden hyödyntämiselle orgaanisen kemian peruskurssilla (KEB-62100 Orgaaninen kemia 1) ja luodaan opetusmalli animaatioiden hyödyntämiselle vedytyksen opetuksessa. Opetusmalli korostaa opiskelijoiden avaruudellisen hahmotuskyvyn kehittymistä ja sitä kautta vedytyksen oppimista. Luvussa 4.3 esitetään erilaisia visuaalisia työkaluja opiskelijan itsenäisen työskentelyn tueksi.

4.1 Kemian opetuksen tavoitteet

Kemiaa voi lukea pääaineena tai sivuaineena sekä kandidaatin tutkinnossa että diplomi-insinöörin tutkinnossa. Yliopistossa voi suorittaa myös kemian pitkän (120 op) tai lyhyen (60 op) opetettavan aineen osana DI-opettajankoulutusta.

TTY:n opinto-oppaan (2013 – 2014) mukaan kandidaatin tutkinnon kemian aineopintojen tavoitteena on luoda yhdessä koulutusohjelman perusopintojen kanssa kansallisesti ja kansainvälisesti vertailukelpoinen ja vahva yleisen kemian pohja. Aineopintojen jälkeen opiskelijalla on tarvittava tietopohja diplomi-insinöörin tutkinnon kemian syventäviä opintoja varten. Kemian syventävien opintojen osaamistavoitteiden mukaan opintokokonaisuuden jälkeen opiskelija tuntee ja ymmärtää syvällisesti aineen rakennetta ja ominaisuuksia, ja hänellä on taito soveltaa kemiaa. Kemian syventävien opintojen tavoitteena on saavuttaa kansallisesti ja kansainvälisesti vertailukelpoinen kemistitutkinto, joka vastaa tarpeita sekä teollisuudessa että tutkimuksen aloilla.

Kemian opintokokonaisuuksien osaamistavoitteissa tulee esille myös orgaanisen kemian osaaminen. Aineopintokokonaisuuden suoritettuaan opiskelijan tulisi osata keskeiset orgaanisten ja bio-orgaanisten yhdisteiden luokat ja nimeäminen, sekä niille ominaiset reaktiot, valmistusmenetelmät ja reaktiomekanismit. Lisäksi opiskelijan tulisi tuntea tavallisimmat orgaanisessa analytiikassa käytettävät analyysimenetelmät ja yksikköoperaatiot, sekä osata syntetisoida orgaanisia yhdisteitä ohjeiden mukaan. Kemian syventävät opintokokonaisuudet painottavat mm. orgaanisten ja bio-orgaanisten systeemien ja materiaalien tuntemusta, teollisten prosessien kemiallisen taustan ymmärtämistä ja monipuolisten analyysimenetelmien opiskelua.

Kemian opintokokonaisuuksien osaamistavoitteiden perusteella voidaan sanoa, että orgaanisen kemian osaaminen on oleellisessa roolissa. Aineopintojen osaamistavoitteissa tuodaan esille orgaanisten yhdisteiden reaktiot ja reaktiomekanismit, jotka ovat haasteellisia oppia. Reaktioiden etenemisen hahmottaminen tuottaa usein vaikeuksia opiskelijoille. Tästä syystä moni opiskelija ei jaksa paneutua niihin kunnolla, ja niin reaktioiden ja reaktiomekanismien syvälinen ymmärtäminen jää puuttumaan. Kuitenkin ilman reaktiomekanismien ymmärtämistä orgaanisen kemian opintojen jatkaminen on todella haastavaa. Tämä tekijä hyödyttää monen opiskelijan innon jatkaa orgaanisen kemian opintoja pakollisia kursseja pidemmälle. Jos opiskelijat saadaan motivoitua oppimaan yhdisteiden rakenteita, reaktioita ja reaktiomekanismeja, he luultavimmin löytävät orgaanisen kemian opiskelun mielekkyyden. Orgaanisten yhdisteiden 3D-molekyyli mallinnus ja reaktioanimaatiot auttavat oppilaita hahmottamaan, mitä todella tapahtuu, ja toimivat näin hyvinä motivaation lähteinä. Oivallusten kautta rakentuu kiinnostus oppia asiasta lisää.

4.2 Animaatioiden hyödyntäminen orgaanisen kemian peruskurssilla

Orgaanisen kemian opetuksessa erilaiset ulkoiset visualisoinnit, visuaaliset mallit, ovat merkittävässä osassa. Orgaanisen kemian osaamisen avain on kyky nähdä aineiden kolmiulotteinen rakenne ja ymmärtää, mikä saa molekyylin reagoimaan sille ominaisel-

la tavalla. Opetus- ja opiskelumateriaaleissa visuaalisten mallien avulla pyritään tukemaan opiskelijoiden visualisointiprosessia ja oikeaoppisten mentaalimallien rakentumista.

4.2.1 Animaatioiden käyttämisen opetukseen tuomat hyödyt

Orgaanisen kemian peruskurssilla visuaalisten esitysten pedagogisella toimivuudella on suuri merkitys, sillä kurssilla rakennetaan opiskelijoiden pohjatietämys orgaanisen kemian syventäville kursseille. Ilman pedagogisesti laadukkaita visuaalisia malleja syntyy helposti virhekäsityksiä, joita on myöhemmin vaikea korjata. Epäselväksi jäävät esitykset voivat myös vahvistaa jo aikaisemmin syntyneitä virhekäsityksiä. Siksi on tärkeää, että jo orgaanisen kemian peruskurssin opetusta suunnitellessa tiedostetaan, että monilla yliopisto-opiskelijoilla on ongelmia liikkua sujuvasti kemian eri tasojen välillä, ja varsinkin työskentely kemian mikroskooppisella tasolla koetaan vaikeaksi. Tästä syystä juuri mikroskooppisen tason ymmärrystä tulisi tukea tehokkaasti.

Orgaanisen kemian opetuksessa reaktioiden mikrotasoa kuvataan usein reaktioyhtälöillä, joissa molekyylit esitetään sahapukkimalleilla, viivamalleilla tai isompien molekyylien kohdalla geometrisilla kuvioilla. Ne pyrkivät auttamaan opiskelijoita hahmottamaan mielessään molekyylien avaruudellista suuntautumista, mutta todellisuudessa suuri joukko opiskelijoita ei tähän kykene. VSEPR-malli konkretisoi hiukan paremmin molekyylin sidosten suuntautumista, mutta sekään ei pyöri vaan opiskelijan on kyettävä mielessään konstruoimaan, miten molekyylin eri osat suuntautuvat ja miltä molekyyli näyttää eri perspektiiveistä katsottuna. Näiden kaksiulotteisten visuaalisten mallien ongelma onkin juuri se, että ne eivät anna opiskelijoille tarpeeksi työkaluja nähdä kaksiulotteisen mallin ja kolmiulotteisen kemian mikromaailman yhteyttä. Animaatiot vastaavat tähän haasteeseen tuomalla reaali maailman dynaamisuuden ja kolmiulotteisuuden opiskelijan havainnoitavaksi.

Animaatiot auttavat opiskelijoita ymmärtämään kemiallisiin reaktioihin vaikuttavia tekijöitä ja siksi on perusteltua käyttää niitä orgaanisen kemian peruskurssin opetuksessa. Animaatioilla voidaan havainnollistaa selkeästi, kuinka sidokset vaikuttavat molekyylin kiertymiseen ja substituenttien suuntautumiseen ja sitä kautta kemiallisten reaktioiden tapahtumiseen. Yksöissidoksen hiiliin liittyneet substituentit voivat pyöriä ympäri, mutta kaksois- ja kolmoissidoksen jäykkyyden vuoksi substituenttien liikkuminen estyy. Lisäksi animaation dynaamisuus eli ajan suhteen eteneminen havainnollistaa tehokkaasti todellisen maailman dynaamisuutta, mitä kaksiulotteiset mallit eivät kykene tuomaan esille.

Animaatioiden hyödyt eivät tule itsestään esille vaan niiden käyttö opetuksen tukena vaatii opettajalta asiantuntijuutta ja kykyä kriittisyyteen. Opettajalla on oltava taito arvioida, auttaako mikrotason animaatio opiskelijoita ymmärtämään paremmin sidosten

vaikutuksia molekyylin eri osien kiertymiseen ja orientoitumiseen, ja edelleen reaktion käynnistymiseen ja etenemiseen. Hänen on siis kyettävä perustelemaan, tuoko animaatio opetukseen lisäarvoa vai voiko se edesauttaa virhekesitysten kehittymistä tai vahvistaa jo olevia virhekesityksiä. Orgaanisen kemian peruskurssilla opiskelijoita on noin 250 ja näin myös opiskelijoiden taitotaso vaihtelee paljon. Siksi on erityisen tärkeää, että opettaja valitsee opetukseensa mukaan vain animaatiot, joiden käytölle hänellä on pedagoginen peruste. Hyvät pohjatiedot omaava opiskelija kykenee löytämään usein heikommastakin animaatiosta sen tarjoaman tiedon, mutta tällainen animaatio ei tuo lisäarvoa opetukseen ja saattaa sotkea heikompien opiskelijoiden visualisointiprosesseja entisestään.

Olennainen osa orgaanisen kemian osaamista ovat orgaanisten reaktioiden reaktiomekanismit. Niiden oppiminen tuottaa kuitenkin ongelmia suurelle osalle opiskelijoista. Siksi on erittäin tärkeää, että jo orgaanisen kemian peruskurssilla niiden oppimista tuetaan tehokkaasti ja luodaan vankka osaamis pohja syventävien kurssien mukanaan tuomien monivaiheisempien reaktioiden ymmärtämiselle. Orgaanisen kemian opetuksessa reaktiomekanismit esitetään usein kaksiulotteisina esityksinä, joissa kuvataan nuolilla reaktion vaiheita. Opiskelijan tulee itse kyetä näkemään mielessään molekyylien avaruudellinen orientoituminen ja niiden vaikutukset reaktion etenemiseen ja reaktiomekanismin seuraaviin vaiheisiin. Monella opiskelijalla ei kuitenkaan ole tarpeeksi kehittyneet visualisointitaidot, ja tästä syystä he opettelevat reaktiomekanismit ulkoa. Tällöin uutta tietoa prosessoidaan vain työmuistissa (luku 2.2), ja kurssin tentin jälkeen tieto unohdetaan. Ulkoa opituista reaktiomekanismeista ei kyetä rakentamaan eheitä mentaalimalleja, jotka tallentuisivat opiskelijan pitkäaikaiseen muistiin (luku 2.2). Valitettavan moni orgaanisen kemian peruskurssin opiskelija opiskelee juuri tällaisella pintasuuntautuneella tavalla (luku 2.3.3), sillä hänellä ei ole työkaluja, joiden avulla hän kykenisi visualisoimaan eheitä ja oikeaoppisia sisäisiä visualisointeja orgaanisen kemian reaktiomekanismeista.

Animaatiot ovat niitä kaivattuja työkaluja, joiden avulla voidaan tukea opiskelijoiden visualisointiprosesseja. Animaatioiden avulla pystytään havainnollistamaan reaktion mikrotasoa dynaamisesti ja kolmiulotteisesti, mikä auttaa opiskelijoita ymmärtämään, miksi reaktion vaiheet tapahtuvat juuri niin kuin tapahtuvat. He näkevät animaation avulla dynaamisesti, kuinka molekyylin jokin osa vetää toisen molekyylin jotakin osaa puoleensa ja saa aikaan kemiallisen reaktion. Visualisointiprosessin helpottuminen ohjaa ja motivoi opiskelijaa opiskelemaan orgaanista kemiaa syväsuuntautuneesti (luku 2.3.3).

Orgaanisen kemian peruskurssilla on muistettava, että osalle kurssin opiskelijoista reaktiomekanismien osaaminen on täysin alkutekijöissä. Tästä syystä animaation esittämisen sovittaminen opittavan reaktion lomaan on suunniteltava tarkasti niin, että se tukee parhaiten opiskelijoiden oppimista. Pelkän animaation esittäminen yksin ei tue opiskelijan

oppimista tarkoituksenmukaisesti, jos opittava asia on uusi hänelle. Parhaimmillaan kaksikulotteisesta reaktioyhtälöstä, pedagogisesti toimivasta animaatiosta ja niitä tukevasta hyvästä verbaalisesta esityksestä syntyy eheä opetuskokonaisuus, joka tukee opiskelijan avaruudellista hahmottamista ja auttaa häntä konstruoimaan yleisesti hyväksyttyjä mentaalimalleja. Erilaisia esityksiä käyttämällä voidaan tukea samanaikaisesti erilaisia oppijia ja kehittää oppijien heikompia aistikanavia (2.3.2).

4.2.2 Animaatiot vedytyksen opetuksessa

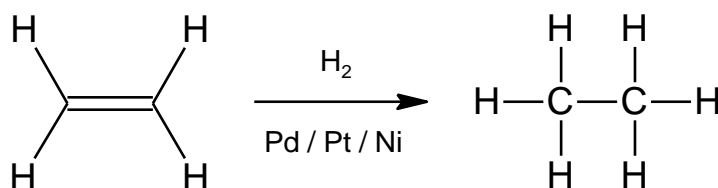
Tutkimusten mukaan vain 14 % yliopistossa kemian opintojensa alkuvaiheessa olevista opiskelijoista osaa selittää kemiallisen reaktion hyvin. Vaikeudet ymmärtää kemiallisia reaktioita pohjautuvat kemian kouluopetukseen, jossa korostuu stoikiometria kinetiikan ja termodynamiikan jäädessä vähemmälle huomiolle. Kinetiikan opetuksen vähäisyyden myötä molekyyli-tason ymmärrys jää heikoksi, ja oppilaat ymmärtävät kemiallisen reaktion usein matemaattisena yhtälönä. Oppikirjojen reaktioyhtälöissä esitetään vain lähtöaineet ja tuotteet, jolloin tietämys reaktion vaiheista jää uupumaan. (Aksela 2005)

Orgaanisen kemian peruskurssilla on tärkeää huomioida opiskelijoiden vaikeudet ymmärtää orgaanisen kemian reaktioita. Animaatioiden avulla reaktioiden oppimista voidaan tukea, sillä ne tuovat orgaanisten reaktioiden dynaamisuuden ja reaktiovaiheet hyvin esille. Tässä luvussa esitetään vedytysreaktio, yksi kemian teollisuuden merkittävistä prosesseista, opetuksen ja oppimisen näkökulmasta ja rakennetaan animaatioita hyödyntävä opetusmalli vedytyksen opetuksen tueksi.

4.2.2.1 Alifaattisten alkeenien ja alkyynien vedytys

Orgaanisen kemian peruskurssilla opetetaan alifaattisten alkeenien ja alkyynien vedytysreaktiot, joten myös tässä työssä keskitytään näihin perusvedytysreaktioihin. Vedytyksessä molekyyliin liitetään vetyä katalyytin avulla, ja siksi siitä käytetään myös nimitystä katalyyttinen vedytys.

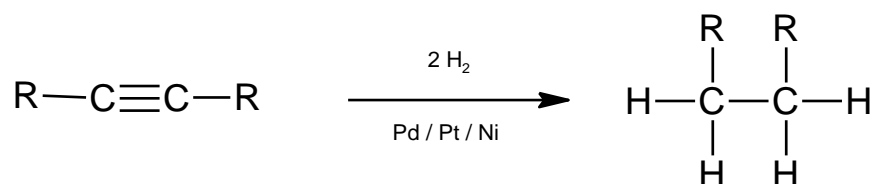
Alkeenien vedytys alkaaneiksi tapahtuu metallikatalyytin, kuten palladiumin (Pd), nikkelin (Ni) tai platinan (Pt), pinnalla (Patrick 2004). Kyseessä on additioreaktio, jossa yksi vetyatomi liitetään kaksoissidoksen kumpaankin hiileen (kuva 4.1).



Kuva 4.1 Eteenin vedytys etaaniksi

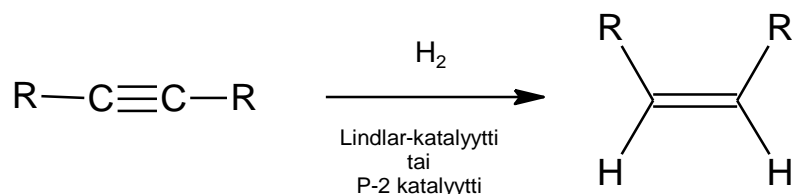
Reaktio ei tapahdu ilman katalyyttiä huoneenlämpötilassa, joten katalyytin läsnäolo on ratkaiseva. Katalyytti sitoo alkeenin ja vetymolekyylin pinnalleen, mikä helpottaa niiden välistä reaktiota. Tämä johtaa vedytysreaktion aktivaatioenergian laskemiseen sallien reaktion tapahtua paljon matalimmissa olosuhteissa. Katalyytti pysyy muuttumattomana, ja sitä tarvitaan kvantitatiivisesti vähän reaktion edistämiseen. Ennen vetymolekyylin hajoamista ja vetyatomien liittymistä alkeeniin sekä alkeeni että vetymolekyyli sitoutuvat yhteiselle katalyytipinnalle. Tämä johtaa siihen, että vetyatomit liitetään vetysidoksen samalle puolelle. Tästä käytetään nimitystä syn-additio. Trans-alkeeni on stabiilimpi kuin cis-alkeeni, joten trans-alkeenin pelkistyessä alkaaniksi vapautuu vähemmän energiaa kuin cis-alkeenin pelkistyessä alkaaniksi. (Patrick 2004)

Alkyynit voidaan pelkistää alkaaneiksi vetykaasulla metallikatalyytin, kuten palladiumin, pinnalla (Patrick 2004). Yksi vetymolekyyli tarvitaan alkyynin vedytykseen alkeeni-väliaineeksi ja toinen vedytykseen alkeenista alkaaniksi (kuva 4.2).



Kuva 4.2 Alkyynin vedytys alkaaniksi

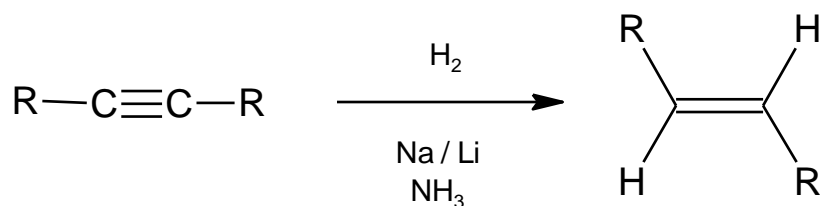
Kun käytetään vähemmän aktiivista katalyyttiä, alkyynin vedytys voidaan pysäyttää alkeeni-muotoon. Cis-alkeenit syntetisoidaan alkyyneistä vedyn avulla Lindlar-katalyytin pinnalla (kuva 4.3). Koska lähtöaineet absorboituvat katalyytin pintaan ennen reaktiota, vetyatomit liittyvät samalle puolelle molekyyliä tuottaen cis-alkeenia.



Kuva 4.3 Alkyynin vedytys cis-alkeeniksi

Lindlar-katalyytissä palladium sekoitetaan kalsiumkarbonaattiin, joka käsitellään edelleen lyijyasetaatilla ja kinoliinilla. Jälkimmäinen käsittely deaktivoi katalyytin osittain niin, että alkyyni reagoi vedyn kanssa alkeeniksi, mutta alkeeni ei enää reagoi alkaaniksi. Samaan tulokseen päästään myös nikkeliboridilla (Ni_2B), josta käytetään nimitystä P-2 katalyytti. (Patrick 2004)

Metalli-ammoniakkiliuoksella voidaan pelkistää alkyyni trans-alkeeniksi (*a dissolving metal reduction*). Trans-alkeenin tuottamiseksi alkyyni vedytetään $\text{Na} - \text{NH}_3$ - tai $\text{Li} - \text{NH}_3$ -liuoksella matalassa lämpötilassa (kuva 4.4). (Patrick 2004)

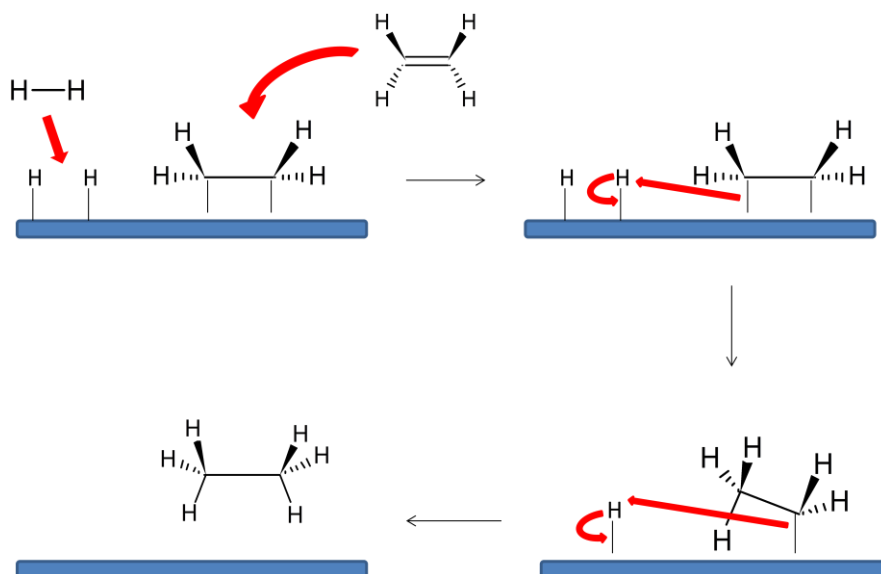


Kuva 4.4 Alkyynin vedytys trans-alkeeniksi

4.2.2.2 Animaatioiden käyttö vedytyksen opetuksen tukena

Kun vedytys opetetaan uutena asiana opiskelijoille orgaanisen kemian peruskurssilla, on tärkeää, että perusreaktiomekanismi ymmärretään aukottomasti. Tämä tukee syventävillä orgaanisen kemian kursseilla opeteltavia monimutkaisempien yhdisteiden vedytysreaktioita. Perusidea ja mekanismihan pysyvät muuttumattomina. Voidaankin todeta, että ymmärtäessään hyvin vedytyksen perusidean, on helppo syventää tietoaan.

Opetuksen aluksi on tärkeää havainnollistaa yksinkertaisesti, mistä vedytyksessä on kyse. Kun uuden asian esittäminen aloitetaan geometrisesti mahdollisimman yksinkertaisilla rakenteilla, annetaan opiskelijalle tilaa orientoitua uuteen opittavaan asiaan, mikä tukee opiskelijoiden visualisointitaitojen kehittymistä (Gilbert 2008). Siksi opetuksessa lähdetään usein liikkeelle alkeenien vedytysreaktioista. Eteenin vedytys etaaniksi (kuva 4.1) on yleisin reaktio, joka esitetään oppikirjoissa ensimmäiseksi selkeytensä vuoksi. Opetuksessa saatetaan käyttää lisäksi myös muiden alkeenien vedytysreaktioita esimerkkeinä, mutta käsittelyssä jäädään usein vain reaktioyhtälötasolle. Tämän työn teoriaosuuden ja luvun 4.2.1 pohjalta voidaan kyseenalaistaa reaktioyhtälön (kuva 4.1) riittävyys yksinään vedytyksen opetuksessa. Pelkän reaktioyhtälön esittäminen opettaa opiskelijoille reaktioyhtälön, mutta se, ymmärtävätkö he vedytyksen toimintaperiaatteen, jää kyseenalaiseksi. Vaikka verbaalinen osa opetuksesta sisältäisi hyvän selityksen reaktion toimintaperiaatteista ja katalyytin käytöstä, on havaittu, että opiskelijoilla on ongelmia reaktion visualisoinnissa. Moni opiskelija ei kykene rakentamaan reaktion etenemisestä oikeaoppista mentaalimallia. Reaktioyhtälökuvat saattavat jopa edistää staattisen mallin muodostumista vedytysreaktiosta (Williamson ja Abraham 1995). Tähän opetuksessa on yritetty vastata kaksiulotteisilla, reaktion etenemistä esittävillä kuvasarjoilla, joista kuvassa 4.5 on annettu esimerkki.

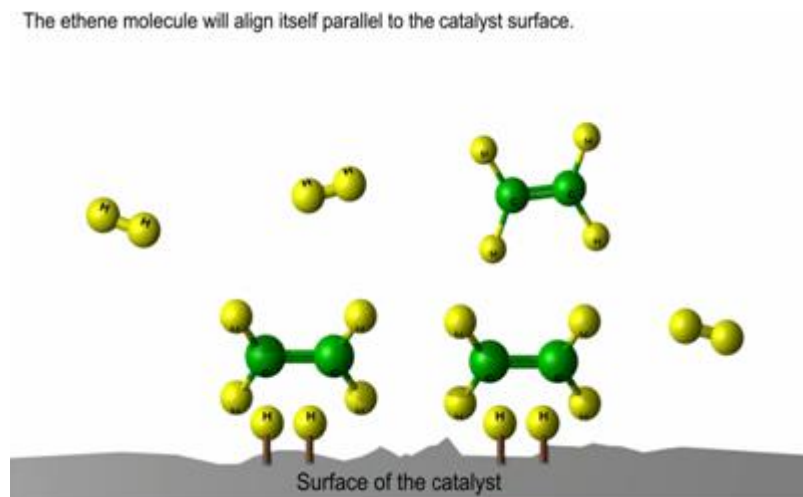


Kuva 4.5 Eteenin vedytyksen etenemistä kuvaava kuvasarja

Kuvasarjat pyrkivät auttamaan opiskelijaa luomaan sillan vedytyksen kaksiulotteisen reaktioyhtälön ja todellisen, kolmiulotteisen mikroskooppisen maailman välille. Kuvasarjojen laatu vaihtelee, mutta niiden osat koostuvat useimmiten vetymolekyylin ja eteenin sitoutumisesta katalyytin pintaan, vetymolekyylin hajoamisesta ja vetyjen liittymisestä eteenin kaksoissidoksen samalle puolelle. Kuvasarjat ovat usein loogisia ja niiden avulla opiskelijalla on mahdollisuus päästä ymmärryksensä lähemmäksi reaalimaailman vedytysreaktiota. Ongelmana on kuitenkin edelleen se, että vedytysreaktion etenemistä ei ole esitetty dynaamisesti ja painetun kuvan molekyylejä ei ole mahdollista pyöritellä. Tästä syystä kuvasarja ei tue opiskelijan avaruudellista hahmotuskykyä samalla tavalla kuin dynaaminen animaatio, jossa molekyylit pyörivät, liikkuvat ja reagoivat keskenään. Animaatio etenee ajan suhteen ja auttaa näin opiskelijaa visualisoimaan, kuinka vedytysreaktio etenee reaalimaailmassa.

Käytettäessä animaatioita vedytyksen opetuksessa on tärkeää muistaa, että animaatioita käytetään tukemaan vedytyksen opetusta eikä korvaamaan opetusta. Edelleen on tärkeää, että opiskelijat oppivat vedytysreaktioiden reaktioyhtälöt. Animaatioiden tarkoituksena on auttaa opiskelijoita ymmärtämään reaktioyhtälöiden takana olevia mikroskooppisen tason tapahtumia. Useiden esitystapojen ja –tasojen käyttäminen auttaa opiskelijoita kytkemään eri esitystapoja ja –tasoja toisiinsa ja aikaisempaan tietoonsa (Hearnshaw 1994). Siksi on hyvä yhdistää eteenin vedytysreaktion reaktioyhtälön ja animaation esittäminen toimivaksi eheäksi kokonaisuudeksi. Tämä tukee paremmin opiskelijan mahdollisuuksia löytää yhteys eteenin vedytysreaktiota kuvaavan reaktioyhtälön ja mikroskooppista maailmaa kuvaavan animaation välille. Hyvä ja pedagogisesti laadukas esimerkki tällaisesta animaatiosta löytyy Project OSCAR (Open Source Courseware Animations Repository) –sivustolta. Animaation (Honkote, Dutta, Iyer & Deorukhkar) alussa esitellään eteenin vedytyksen reaktioyhtälö, jota seuraa reaktion vaihei-

den esittely reaktioanimaation avulla. Animaatiossa on mukana tekstitys, joka selittää lyhyesti ja ytimekkäästi reaktion vaiheita niiden edetessä (kuva 4.6). Tekstitys tukee Mayerin (1997) ajatusta siitä, että verbaalisen ja visuaalisen esityksen samanaikaisuus tehostaa oppimista.



Kuva 4.6 *Project OSCAR – animaation pysäytetty kuva (Honkote, Dutta, Iyer & Deorukhkar)*

Animaatio, joka sisältää myös verbaalista esitystä, ei korvaa opettajaa. Opettajan verbaalisella esityksellä edistetään sitä, että jokainen opiskelija ymmärtää eteenin vedytysreaktion jokaisen vaiheen, ja opiskelijoille rakentuu oikeaoppinen mentaalimalli alkeenien vedytysreaktion perusmekanismista. Animaation etuna on se, että opettaja voi pysäyttää animaation tai näyttää jonkin osan siitä uudelleen, ja näin painottaa vedytysreaktion eri vaiheita. Kun alkeenien vedytyksen perusmekanismi on opetettu, voidaan oppimista tukea eri alkeenien vedytysreaktioihin tutustumalla. Kun mekanismi on käsitelty kunnolla, on opiskelijoilla hyvät valmiudet ymmärtää myös muiden alkeenien vedytysreaktioita, koska perusidea pysyy samana.

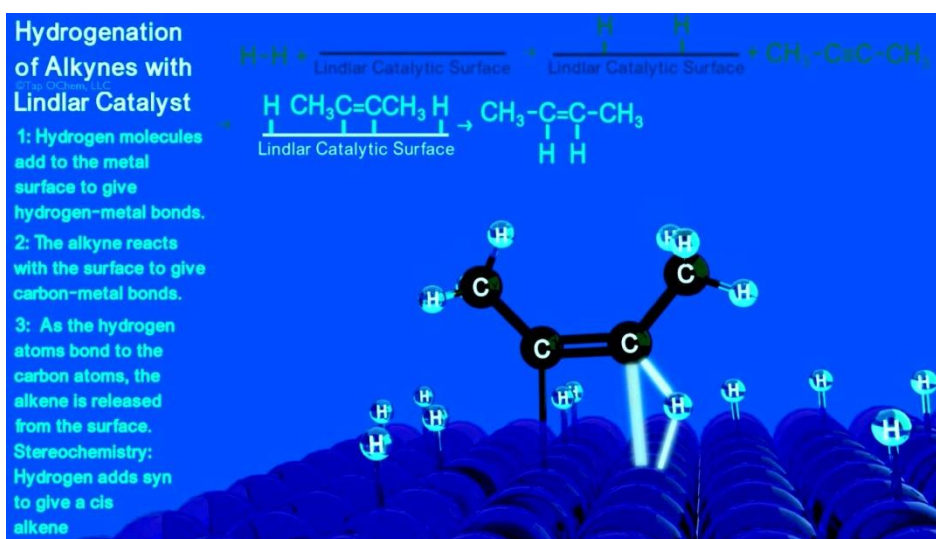
Kun alkeenien vedytys on käsitelty, siirrytään alkyynien vedytykseen. Kuten luvussa 4.3.2.1 esitettiin, alkyynien vedytyksessä on kolme eri tapaa. Internetistä löytyy heikosti animaatioita alkyynien vedytysreaktioista vielä tällä hetkellä, ja tarjolla olevien laatu ei ole korkea. Toisaalta esimerkiksi Applen sovelluskauppa tarjoaa vedytyksen oppimisen tueksi laadukkaita sovelluksia mobiililaitteisiinsa. Seuraavaksi esitetään ideoita siitä, kuinka alkyynien vedytystä voi opettaa animaatioiden avulla, ja millaisia animaatioita opetusta varten tarvitaan.

Alkyynien opetus on hyvä aloittaa kokonaiskuvan luomisella; esitetään yksinkertaisten reaktioyhtälöiden avulla, mitkä ovat kolme tapaa vedyttää alkyyneja. Ensimmäinen tapa on käyttää metallikatalyyttiä, kuten palladiumia (kuva 4.2), toinen tapa käyttää osittain vedytysreaktiota deaktivoivaa katalyyttiä (kuva 4.3) ja kolmas tapa suorittaa vedytys

metalli-ammoniakki-liuoksessa, kuten Na - NH₃ -liuoksessa (kuva 4.4). Lyhyen yleiskatsauksen jälkeen opetuksessa keskitytään jokaiseen alkyynien vedytysreaktiotyyppiin yksitellen.

Kun alkyynien vedytyksessä käytetään metallikatalyyttiä, kuten palladiumia, reaktio etenee alkeeni-välituotteen kautta alkaaniksi (kuva 4.2). Tästä on hyvä aloittaa alkyynien vedytysreaktioiden opetus, sillä vedytys etenee täysin samoin kuin alkeenien vedytysreaktio. Näin opiskelijalla on mahdollisuus yhdistää uutta tietoa jo oppimaansa, mikä on eheän mentaalimallin rakentamisen edellytys. Alkyyni vedytetään ensin alkeeniksi, ja toisen vetymolekyylin avulla edelleen alkaaniksi. Samoin kuin alkeenien vedytystä käsiteltäessä, on tärkeää muodostaa yhteys reaktioyhtälön ja kemian mikromaailman välille. Tässä prosessissa selkeä animaatio, joka painottaa reaktion avainkohtia: reagenssien sitoutumista katalyytin pintaan ja vetyatomien siirtymistä alkyynimolekyyliin, on merkittävässä osassa. Pedagogisesti toimivassa animaatiossa tulee tulla selkeästi esille se, että alkyynin vedytys alkaaniksi vaatii kaksi vetymolekyyliä reaktion kaksivaiheisuuden vuoksi. Myös alkeeni-välituotteen syntyminen ja reaktion jatkuminen edelleen alkaaniksi tulee olla hyvin esitetty. Opiskelijoiden huomio tulee kiinnittää siihen, että alkeeni-välituote on cis-muotoa, koska vetymolekyylin vetyatomit sitoutuvat samalle puolelle alkyynin kolmoissidosta tasomaisen katalyytin johdosta.

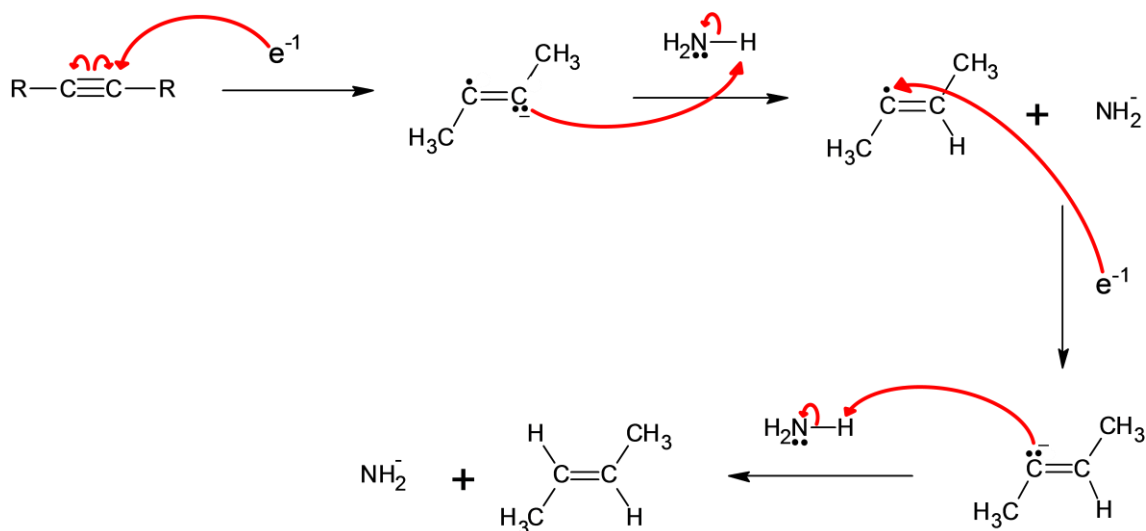
Toisena alkyynien vedytysreaktioista käsitellään Lindlar-katalyytin avulla tapahtuva alkyynin vedytys cis-alkeeniksi. Tämän vedytysreaktion opetuksessa tulee painottaa Lindlar-katalyytin osittain vedytysreaktiota deaktivoivaa vaikutusta, mikä saa reaktion pysähtymään cis-alkeeniksi. Kuten metallikatalysoidun vedytyksen kohdalla, myös Lindlar-katalyyttiä käytettäessä muodostuu cis-alkeenia katalyytin tasomaisuuden vuoksi. Applen mobiililaitteissa toimiva Tap OChem -sovellus sisältää hyvän esimerkin laadukkaasta animaatiosta, joka kuvaa Lindlar-katalyytin katalysoimaa alkyynin vedytysreaktiota. Kuvassa 4.7 on pysäytetty kuva tästä animaatiosta.



Kuva 4.7 Tap OChem -animaation pysäytetty kuva (Tap OChem)

Vaikka katalyyttien tarkempi toiminta ei sisälly orgaanisen kemian peruskurssin opetukseen, tässä kohdassa on mahdollisuus ajan salliessa esitellä lyhyesti metallikatalyytin ja Lindlar-katalyytin toiminnan ero. Luultavasti monia opiskelijoita kiinnostaa Lindlar-katalyytin deaktivoiva vaikutus, ja lyhyt katsaus siihen saattaa herättää mielenkiinnon asiaa kohtaan ja näin motivoida orgaanisen kemian syventäville kursseille. Korostamalla asian olevan ylimääräistä, peruskurssin sisältöalueen yltävää, sen mahdollinen haastavuus ei herätä stressiä opiskelijoissa. Animaatioiden avulla katalyyttien toimintaero voidaan havainnollistaa nopeasti ja tehokkaasti, kun opiskelijat näkevät konkreettisesti omin silmin katalyyttien toimintaeron.

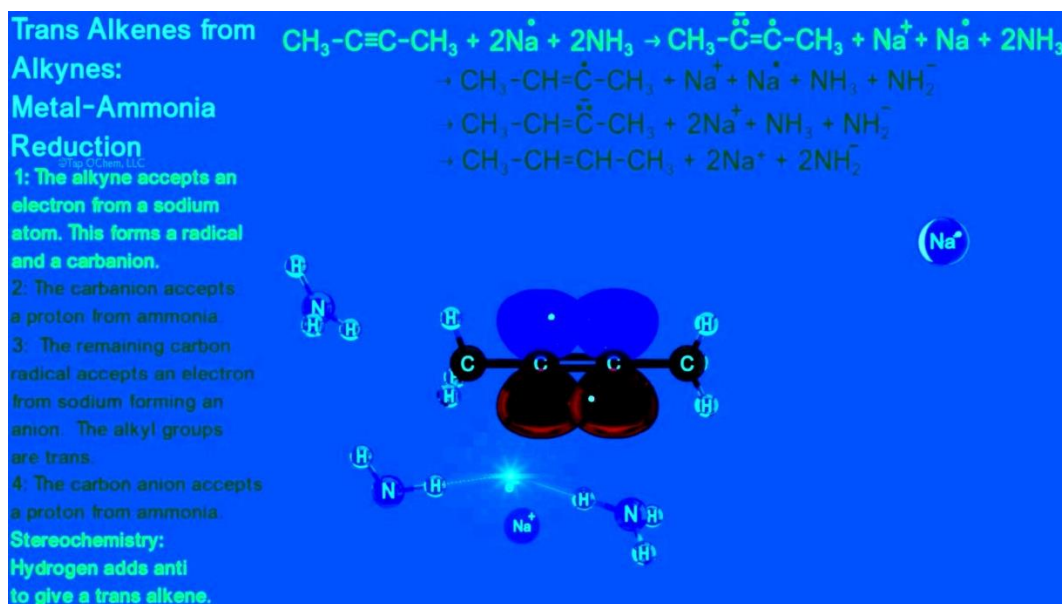
Viimeisenä opetettavana vedytysreaktiona on muista vedytysreaktioista poikkeava, alkyynin vedytys trans-alkeeniksi metalli-ammoniakkiliuoksessa, kuten esimerkiksi Na - NH₃ -liuoksessa (kuva 4.4). Oppikirjoissa ja opetuksessa tämän vedytysreaktion vaiheita on pyritty avaamaan reaktiomekanismin avulla (kuva 4.8)



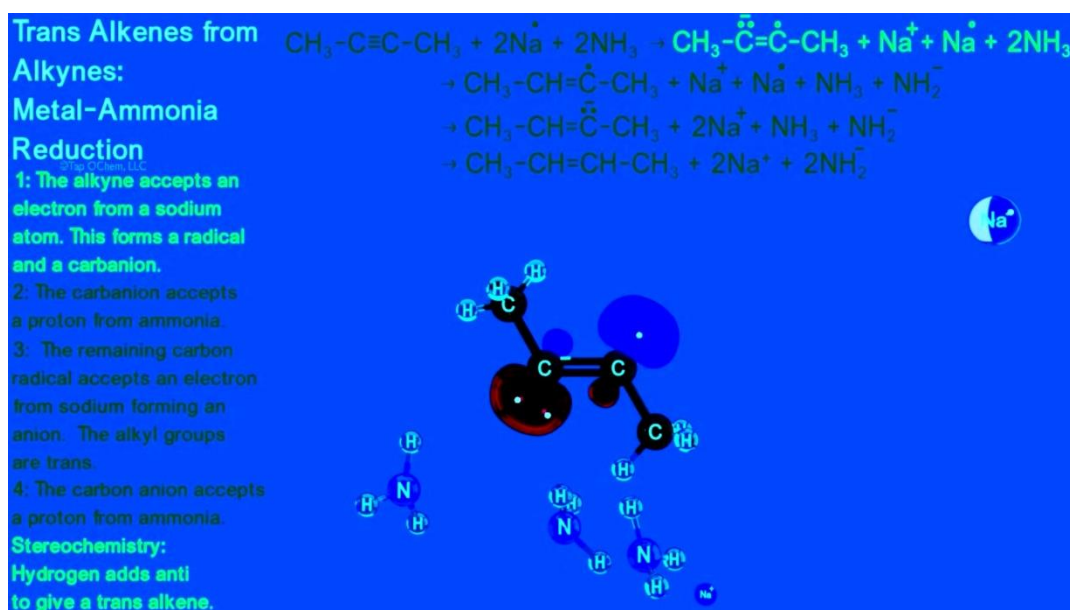
Kuva 4.8 Reaktiomekanismi alkyynin vedytyksestä trans-alkeeniksi metalli-ammoniakkiliuoksessa

Monivaiheisten reaktiomekanismien ymmärtäminen on monille orgaanisen kemian peruskurssin opiskelijoille haastavaa, sillä lukio-opetuksessa reaktioyhtälöissä esitetään vain lähtöaineet ja tuotteet. Kun opetetaan alkyynin vedytystä trans-alkeeniksi, on tärkeää, että jokainen reaktiomekanismin vaihe käydään huolella läpi. Opiskelijat kompastuvat helposti jo reaktiomekanismin ensimmäisen vaiheen ymmärtämisessä: mistä saadaan radikaalianionin muodostumiseen tarvittava elektroni? Heidän on vaikea hahmottaa, että elektroni vapautuu metallin liuetessa veteen, kun kyseinen reaktio ei näy reaktiomekanismissa. Reaktiomekanismin avulla on myös haasteellista visualisoida, kuinka elektronin liittyessä alkyyniin syntyvä radikaalianioni ottaa trans-muodon cis-muodon sijasta. Ammoniakista lohkeavan vedyn liittyminen radikaalianioniin on paremmin ymmärrettävissä, sillä siirtyvä vetyatomi nähdään konkreettisesti. Seuraavassa vaiheessa

sekaannusta aiheuttaa uudelleen natriumin liueteissa vapautuvan elektronin liittyminen radikaaliin. Reaktiomekanismin ymmärtämistä voidaan tukea hyvällä verbaalisella esityksellä, mutta laadukkaan animaation käyttäminen tuo opetuksen tueksi työkalun myös opiskelijoiden visualisoinnin helpottamiseen. Pedagogisesti toimivassa animaatiossa tulee näkyä selkeästi, kuinka elektronin vastaanottaminen saa radikaalianionin kääntymään trans-muotoon. Kuvissa 4.9 ja 4.10 on esitetty kaksi pysäytettyä kuvaa Tap O-Chem –sovelluksen animaatiosta, jossa esitetään alkyynin vedytys trans-alkeeniksi.



Kuva 4.9 Alkyynin vedytys trans-alkeeniksi – ennen elektronin vastaanottamista (Tap OChem)

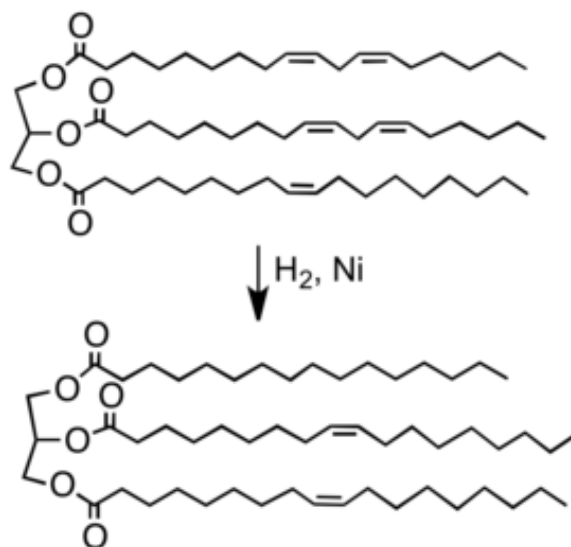


Kuva 4.10 Alkyynin vedytys trans-alkeeniksi – elektronin vastaanottamisen jälkeen (Tap OChem)

Tap OChem –animaatio näyttää dynaamisesti molekyylin hakeutumisen energialtaan edullisempaan trans-muotoon, mikä tukee opiskelijan avaruudellisen hahmottamisen kehittymistä, sillä hän voi silmin nähdä, kuinka radikaalianioni hakeutuu energialtaan edullisempaan trans-muotoon. Animaatio ei korvaa reaktiomekanismin opettelua vaan tukee oppimisprosessia. Siksi opettajan tulee yhdistää niistä eheä kokonaisuus, jossa hän konkreettisesti rakentaa siltoja reaktiomekanismin ja animaation välille.

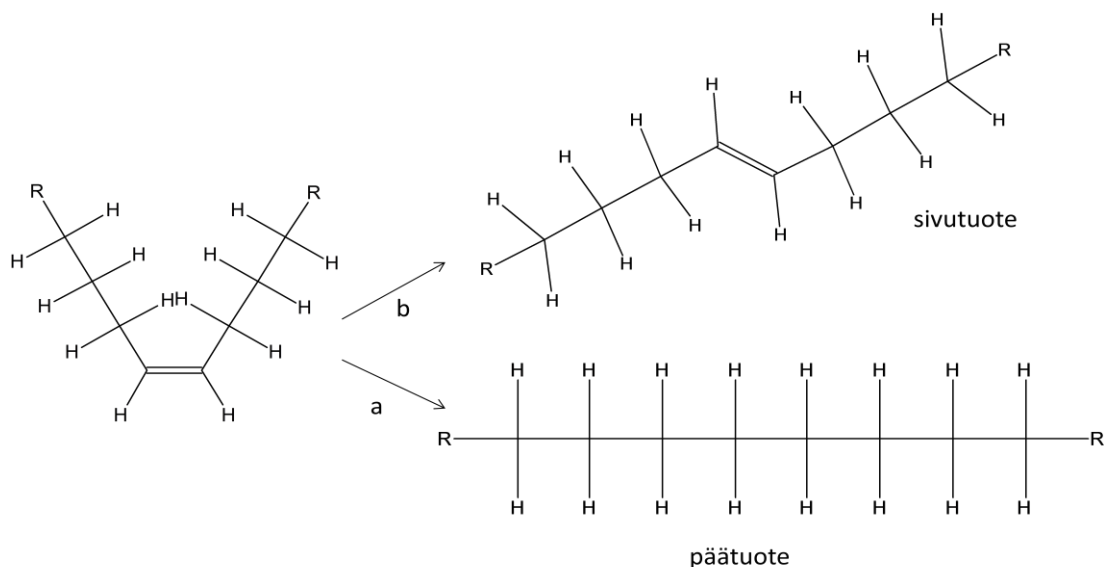
Kun alkeenien ja alkyynien vedytysreaktiot on käsitelty, voidaan niiden oppimisen tärkeyttä korostaa esittämällä mikrotasoa kuvaava animaatio konkreettisesta teollisuuden prosessista, joka hyödyntää vedytystä. Lisäksi videon tai simulaation yhdistäminen animaatioon auttaa opiskelijoita tulkitsemaan konkreettisia ilmiöitä abstraktein käsittein, kuten Velazquez-Marcano, Williamson, Ashkenazi, Tasker ja Williamson (2004) osoittivat tutkimuksissaan. Lisäämällä videon tai simulaation animaation tueksi autetaan opiskelijaa silminnähtävän makroskooppisen tason ja sen takana olevan mikrotason välisten yhteyksien rakentamisessa. Vedytysreaktioiden kohdalla opiskelija oppii näkemään teollisuuden prosessin taakse ja ymmärtämään, kuinka reaktio tapahtuu mikrotasolla. Kun opiskelija saa vedytyksen käytöstä konkreettisena esimerkkinä itselle tutun tuotteen teollisen valmistusprosessin, se motivoi häntä oppimaan. Opitun yhdistäminen työelämään tukee luvussa 2.1.5 esitetyn ilmiöpohjaisen oppimisen korostamaa oppimisen autenttisuutta. Teollisuuden prosessin tuominen mukaan oppimistilanteeseen osoittaa opiskelijoille, että vedytysreaktion ymmärtämistä todella tarvitaan työelämässä. Tarpeellisuuden tiedostaminen tekee reaktion oppimisesta mielekästä ja merkityksellistä.

Vedytyksen kautta syntyvä, arkipäivästä tuttu tuote on margariini. Margariinin valmistuksessa vedytetään nikkeli-katalyytin avulla nestemäisiä kasvirasvoja, jotka sisältävät monityydyttymättömiä rasvahappoja. Vedytys tapahtuu osittain, jolloin kaikkia kaksoisidoksia ei vedytetä (kuva 4.11). Mitä vähemmän kaksoisidoksia jää, sitä kovempaa margariinia saadaan.



Kuva 4.11 Kasvirasvojen vedytys margariiniksi Ni-katalyytin avulla

Margariinin valmistuksessa kaksoissidosten vedytyksen sivureaktiona kaksoissidoksen toiseen hiileen sitoutunut vety siirtyy kaksoissidoksen toiselle puolella aiheuttaen molekyylin kääntymisen trans-muotoon. Tällöin kaksoissidoksen vedytys estyy steerisen esteen vuoksi, kuten kuvan 4.12 reaktiosta b voidaan nähdä. Kuvan 4.12 reaktiossa a vedytys tapahtuu päätuotteksi alkaaniksi.

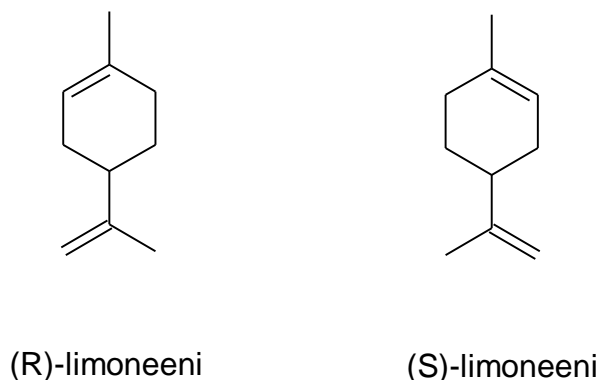


Kuva 4.12 Cis-alkeenin vedytys päätuotteeksi alkaaniksi (reaktio a) ja sivutuotteeksi trans-alkeeniksi (reaktio b)

Margariinin valmistuksessa käytettävästä vedytysreaktiosta tulee esittää animaatio, jonka avulla opiskelijat yhdistävät margariinin valmistuksen alkeenien vedytysreaktioon. Sivureaktion (kuva 4.12 reaktio b) olemassaolo tulee tulla myös esille, jotta osittaisen vedytyksen syy tulee ymmärretyksi. Makrotason videon tai simulaation avulla voidaan konkretisoida teollisuuden margariinin valmistusta. Hyvä video tai simulaatio tuo vastauksen kysymyksiin, kuten millaisessa reaktorissa ja millaisissa olosuhteissa vedytys tapahtuu, kuinka reagenssit syötetään aineeseen, kuinka katalyytti on sijoitettu reaktorissa ja miten vedytettyjen kaksoissidosten määrä vaikuttaa margariinin kovuuteen.

Tutkivassa ja ongelmalähtöisessä oppimisessa sekä niiden ajatuksia tukevassa ilmiöpohjaisessa oppimisessa (luku 2.2) korostetaan opiskelijan roolia aktiivisena toimijana oppimistilanteessa. Opiskelijan roolin aktivoimiseksi margariinin valmistusreaktion opetuksessa voidaan lähteä liikkeelle esittämällä ensin makrotason video tai simulaatio margariinin valmistusprosessista. Esityksen jälkeen opiskelijoille annetaan tehtäväksi selvittää, mitä prosessin makrotason takana mikrotasolla tapahtuu. Lopuksi margariinin valmistusreaktio käydään yhdessä läpi opiskelijoiden selvitysten pohjalta. Opettajan tehtävä on huolehtia, että kaikki olennaiset asiat margariinin valmistusreaktiosta tulee esitetyksi. Reaktiota kuvaavan animaation avulla opittu tieto sidotaan yhtenäiseksi kokonaisuudeksi. Animaatio auttaa opiskelijaa luomaan kestävän sillan margariinin valmistusreaktion ja alkeenien vedytyksen välille.

Vedytyksen opetuksen yhteydessä on hyvä luoda lyhyt katsaus katalyyttiseen asymmetriseen vedytykseen, sillä sen tutkimisesta on myönnetty Nobelin palkinto William S. Knowlesille and Ryoji Noyorille vuonna 2001. Monet elävissä organismeissa esiintyvät yhdisteet ovat kiraalisia. Näiden yhdisteiden enantiomeereilla saattaa olla merkittävästi erilainen biologinen aktiivisuus. Esimerkiksi (S)-limoneeni tuoksuu sitruunalle ja sen peilikuva (R)-limoneeni appelsiinille (kuva 4.13).



Kuva 4.13 (R)-limoneeni tuoksuu appelsiinille ja (S)-limoneeni sitruunalle.

Toisella enantiomeerilla voi olla myös parantava vaikutus, kun taas toinen saattaa olla haitallinen elimistölle. Tästä syystä lääketieteellisyydessä on tärkeää tietää kummankin enantiomeerin biologinen aktiivisuus ja myrkyllisyys, ja tarve puhtaille enantiomeereille on ilmeinen. Enantiomeerin erottamiseksi toisesta enantiomeerista orgaanisen kemian tutkimuksessa on pitkään keskitytty kehittämään tehokkaita katalyyttisiä asymmetrisiä synteesitapoja, joista yksi on katalyyttinen asymmetrinen vedytys. Tällä kehitystyöllä on merkittävä vaikutus akateemisiin ja teollisiin orgaanisiin synteeseihin, sillä yksi kiraalinen katalyyttinä toimiva molekyyli voi tuottaa enantioselektiivisesti miljoonia kiraalisia molekyyliä. Asymmetriset synteesit ovat tuottavuutensa lisäksi myös taloudellisia, sillä käyttämällä niitä vältetään raseemisten seosten erottamisessa syntyvältä jätteeltä. (The Royal Swedish Academy of Sciences 2001)

4.2.3 Animaatiot ja muut visuaaliset työkalut

Ohjatun luento-opetuksen lisäksi on tärkeää, että opiskelijat harjoittavat visualisointitaitojaan myös itsenäisesti. Pelkkä luento-opetus ei usein tue riittävästi uuden tiedon talentumista pitkäaikaiseen muistiin, vaan oppiminen tapahtuu parhaiten, kun opiskelija syventää osaamistaan rakentamalla itse kolmiulotteisia molekyyliä molekyyylimallin-
nusohejmilla ja tutkimalla niiden rakenteita eri puolilta.

Opiskelijoilla pitää olla mahdollisuus katsoa luennolla esitettyjä animaatioita ja muita visuaalisia esityksiä itsenäisesti kotona. Tällöin opiskelija voi havainnoida animaatiota niin monesti kuin on tarpeen ymmärtämisen kannalta. Lisäksi hän voi pysäyttää animaation ja tutkia näin reaktion eri vaiheita rauhassa. Opetuksessa tulee painottaa itsenäisen

työskentelyn tärkeyttä osana eheiden mentaalimallien kehittymisprosessia. Orgaanisen kemian peruskurssilla oppimisen tukemiseksi voidaan antaa opiskelijoille harjoitustehtäviä, joiden avulla heillä on mahdollisuus kehittää visualisointitaitojaan.

Seuraavaksi esitetään muutamia hyviä ja ilmaisia ohjelmia sekä Internet-sivustoja orgaanisen kemian oppimisen tueksi. Molekyyylimallinnus tukee opiskelijoiden avaruudellisen hahmottamisen taidon kehittymistä. Molekyyylimallinnusohjelmien avulla opiskelijat voivat rakentaa itse kolmiulotteisia molekyyliä ja pyöritellä niitä havainnoidakseen rakenteita eri suunnista. Hyviä ohjelmia ja Internet-sivustoja tähän tarkoitukseen:

- Chems sketch
<http://www.acdlabs.com/resources/freeware/chemsketch/>
- Jmol (ei korjaa virheellisiä rakenteita)
<http://jmol.sourceforge.net/>
- Molecular Networks – Interactive 3D Structure Generation with CORINA (vierekkäin 2D- ja 3D-mallit)
https://www.molecular-networks.com/online_demos/corina_demo_interactive

Internetissä on runsaasti tarjolla kolmiulotteisia molekyyliä niiden rakenteen havainnointia varten. Esimerkkejä kattavista orgaanisten yhdisteiden molekyylipankeista ovat:

- Chemistry, Structures & 3D Molecules
<http://www.3dchem.com>
- Chemical Education Digital Library
<http://www.chemeddl.org/resources/models360/models.php>
- Technische Universität Darmstadt
<http://csi.chemie.tu-darmstadt.de/ak/immell/index.html>
- RCSB Protein data Bank
<http://www.rcsb.org/pdb/home/home.do>

Laadukkaita animaatioita orgaanisista reaktioista löytyy vielä melko vähän Internetistä, mutta tarjonnan voidaan olettaa kasvavan lähivuosina merkittävästi. Tämän hetken hyviä esimerkkejä animaatioita tarjoavista ohjelmista ja Internet-sivuista ovat:

- Project OSCAR (Open Source Courseware Animations Repository)
<http://oscar.iitb.ac.in/availableanimations.do>
- Chemtube 3D (University of Liverpool)
<http://www.chemtube3d.com/>
- Tap OChem (Applen mobiililaitteisiin, maksullinen)

5 PÄÄTELMÄT

Konstruktivistisen oppimiskäsityksen mukaan oppiminen on prosessi, jossa opiskelijan tietorakenne on dynaamisessa vuorovaikutuksessa uuden tiedon kanssa (Ausubel 1986). Opiskelija yhdistää uutta tietoa aikaisempiin tietokäsityksiinsä, ja näin muokkaa ja konstruoi tietorakenteitaan (Nevgi & Lindblom-Ylänne 2009). Uuden tiedon liittäminen jo olemassa oleviin mentaalimalleihin edellyttää niiden välisen yhteyden löytämisen. Kemian oppimisessa oikean yhteyden ymmärtäminen ja eheän tietorakenteen konstruointi tuottaa ongelmia monille opiskelijoille, sillä opetus painottuu kemian symboliseen tasoon, eikä tuo tarpeeksi esille kemian makro-, mikro- ja symbolisen tason välisiä yhteyksiä. Kuitenkin monet virhekäsitykset kemiassa johtuvat opiskelijoiden heikoista mikroskooppisen tason visualisointitaidoista (Tasker & Dalton 2006).

Tässä työssä tarkoituksena oli löytää pedagogisia perusteita sille, että mikroskooppista tasoa kuvaavien animaatioiden käyttö osana orgaanisen kemian reaktioiden opetusta tukee opiskelijoiden visualisointitaitojen kehittymistä ja näin tehostaa orgaanisen kemian reaktioiden oppimista. Orgaanisen kemian oppikirjojen ja opiskelumateriaalien kaksikulotteiset kuvat ja 3D-molekyyylimallinnus pyrkivät auttamaan orgaanisten molekyylien ja reaktioiden mikrotason ymmärtämistä. Ne eivät kuitenkaan ole dynaamisia malleja, minkä vuoksi orgaanisia reaktioita kuvaavien animaatioiden lisääminen osaksi opetusta auttaa opiskelijoita ymmärtämään paremmin molekyylien välisiä vuorovaikutuksia, kemiallisen reaktion dynaamista luonnetta ja reaktion eri vaiheiden merkitystä reaktion etenemisen kannalta. Dynaaminen animaatio tukee dynaamisten mentaalimallien muodostumista, mikä auttaa käsitteiden ymmärtämistä, toisin kuin kaksikulotteiset kuvat, jotka edistävät staattisen mallin muodostumista tai eivät lainkaan auta opiskelijaa muodostamaan oikeaoppista mentaalimallia (Williamson ja Abraham 1995).

Pedagogisesti toimivien animaatioiden käyttö opetuksessa kehittää opiskelijoiden avaruudellista hahmotuskykyä, taitoa selittää mikrotason ilmiöitä ja kykyä yhdistää ilmiöt kemian makro- ja symbolisen tason kanssa (Tasker & Dalton 2006). Animaatioiden mikrotason ilmiöiden selittämistaitoja kehittävä vaikutus tukee narratiivisen oppimisen ajatusta siitä, että merkitysten kielentäminen on edellytys eheiden narratiivien muodostumiselle.

Toinen osa työtä oli luoda Tampereen teknillisen yliopiston orgaanisen kemian peruskurssia varten opetusmalli animaatioita hyödyntävästä vedytysreaktion opetuksesta. Opetusmalli rakennettiin animaatioiden käytölle esitettyjen pedagogisten perusteiden

pohjalta. Siinä korostuu vedytysreaktion perusmekanismin syvälinen ymmärtäminen sekä opitun vedytysreaktion yhdistäminen konkreettiseen kemian teollisuuden prosessiin. Opitun tiedon yhdistäminen teollisuuteen ja työelämään tukee konstruktivistiseen oppimiskäsitykseen pohjautuvan ilmiöpohjaisen oppimisen korostamaa oppimisen autenttisuutta. Aitojen työelämän prosessien sisällyttäminen oppimistilanteisiin tekee oppimisesta mielekäästä ja merkityksellistä ja opittu tieto ankkuroituu todellisen maailman ilmiöihin.

Opetusmalli esittää margariinin valmistusreaktiota esimerkiksi teollisuuden vedytysprosessista. Margariinin valmistus esitetään vedytysreaktioiden opetuksen lopuksi, jolloin se vahvistaa vedytysreaktioiden oppimista ja motivoi konkreettisuudellaan. Kun margariinin valmistusreaktiota lähestytään prosessia kuvaavan makrotason videon tai simulaation kautta, saadaan opiskelijoiden rooli aktivoitua oppimistilanteessa. Kun opiskelijat pääsevät itse selvittämään, mitä prosessin makrotason takana mikrotasolla tapahtuu, toteutuu tutkivan, ongelmalähtöisen ja ilmiöpohjaisen oppimisen mukainen ajatus oppijasta aktiivisena toimijana.

Animaatioiden hyödyntäminen vedytyksen opetuksessa tukee opiskelijoiden visualisointiprosessia, sillä se kehittää opiskelijoiden avaruudellista hahmotuskykyä. Animaatiot ovat kuitenkin visuaalisesti monimutkaisempia kuin kuvat, mikä saattaa vähentää animaatioiden tehokkuutta (Tasker & Dalton 2006). Lisäksi pedagogisesti heikot animaatiot voivat vahvistaa tai aiheuttaa uusia virhekäsityksiä. Onkin erityisen tärkeää, että opettaja käyttää opetuksessa animaatioita, jotka ohjaavat opiskelijoiden huomion vedytysreaktion päävaiheisiin. Opettajan tulee kyetä arvioimaan kriittisesti, onko animaation laatu ja pedagoginen toimivuus riittävä opetuskäyttöön; auttaako mikrotason animaatio opiskelijoita ymmärtämään paremmin sidosten vaikutuksia molekyylin eri osien kiertymiseen ja orientoitumiseen ja edelleen reaktion käynnistymiseen ja etenemiseen. Internet tarjoaa vielä tällä hetkellä melko vähän animaatioita, jotka ovat soveltuvia opetuksen osaksi. Tästä syystä myös vedytysreaktioiden opetusmallin rakentamisessa esitettiin joidenkin opeteltavien vedytysreaktioiden kohdalla esimerkin sijasta tarve pedagogisesti toimivalle animaatiolle. Tarjonta ja animaatioiden laatu tulevat varmasti lisääntymään lähivuosina teknologian painottuessa oppimistilanteissa yhä enemmän.

Työ perustelee animaatioiden hyödyntämistä orgaanisen kemian opetuksessa aikaisempiin tutkimustuloksiin vedoten ja esittää tähän teoreettiseen taustaan pohjautuen opetusmallin vedytysreaktioiden opettamiselle animaatioita hyödyntämällä. Opetusmalli on rakennettu orgaanisen kemian peruskurssin suunnittelun ja toteutuksen apuvälineeksi. Koska tehdyt ehdotukset perustuvat aikaisempaan tutkimustietoon, voidaan niitä pitää pedagogisesti toimivina ja käyttää vedytysreaktioiden opetuksessa. Samasta syystä opetusmalli on sovellettavissa muiden orgaanisten reaktioiden opetukseen. Työn esittämät pedagogiset perusteet tukevat myös animaatioiden käyttöä muilla orgaanisen kemian kursseilla.

Opetusmallin toimivuutta ei ole tutkittu kohderyhmällä, mikä asettaa sen luotettavuudelle rajoitteita. Ehdotan, että opetusmallia käytetään orgaanisen kemian peruskurssilla vedytyksen opetuksessa, ja kehitetään tulosten pohjalta eteenpäin. Tässä työssä tarkoitukseen sopivan animaation puuttuessa opetusmallissa esitettiin vain tarve pedagogisesti toimivalle animaatiolle. Näin ollen ehdotan opetusmallin käyttämisen ja kehittämisen rinnalle animaatiopakettin rakentamista orgaanisen kemian kurssia ja erityisesti vedytyksen opetusta varten.

LÄHTEET

- Aksela M. 2005. Supporting meaningful chemistry learning and higher-order thinking through computer-assisted inquiry: A design research approach, 19-32. Academic dissertation. Faculty of Science. Department of Chemistry. Yliopistopaino, Helsinki.
- Aksela, M. & Montonen, M. 2007. Uusia lähestymistapoja kemian opetukseen peruskoulusta korkeakouluhin, Osa II Toisen asteen koulutus. 48-53. Opetushallitus.
- Andersson, P. H. & Reiman, K. 2009. Koulutuksen kehittämisohjelma vuosille 2009 -2015. Tampereen teknillinen yliopisto. [WWW] Viitattu 10.6.2014. Saatavissa: <https://www.tut.fi/tutka/kehittaminen/kehittamissuunnitelmat/koulutuksen-kehittamisohjelma/index.htm>
- Ausubel, D. P. 1968. Educational psychology: a cognitive view. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Barnea, N. 2000. Teaching and learning about chemistry and modelling with a computer managed modelling System. Teoksessa Gilbert, J. K. & Boulter, C. J. (toim.) *Developing models in science education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 307-323.
- Bent, H. A. 1984. Uses (and abuses) of models in teaching chemistry, *Journal of Chemical Education* 61(9), 774-777.
- Ben-Zvi, R., Eylon, B.-S. & Silberstein, J. 1987. Students' visualization of a chemical reaction. *Education in Chemistry* 24(4), 117-120.
- Bereiter, C. & Scardamalia, M. 1993. Surpassing ourselves: an inquiry into the nature and implications of expertise. Chicago: Open Court.
- Biggs, J. B. & Moore, P. J. 1993. The process of learning. Sydney: Prentic Hall.
- Burke, K. A., Greenbow, T. J., & Windschitl, A. (1998). Developing an using conceptual computer animations for chemistry instruction. *Journal of Chemical Education* 75(12), 1658-1661.
- Cantell, H. 2011. Ilmiökeskeinen pedagogiikka. Opetushallitus. [WWW] Viitattu 29.5.2014. Saatavissa: http://www.oph.fi/download/138421_MaasuCantell_04022011.pdf
- David, T., Patel, L. Burdett, K. & Rangachari, P. 1999. Problem-based learning in medicine. Worcester: Royal Society of Medicine Press Ltd.

Dori, Y.J., Barak, M. & Adir, N. 2003. A Web-based chemistry course as a means to foster freshmen learning. *Journal of Chemical Education* 80, 1084-1092.

Ekstrom, R. B., French, J. W., Harman, H. H., and Dermen, D. 1976. Manual for factor referenced cognitive tests. Princeton, NJ: Educational Testing Service.

Engeström, Yrjö. 1987. Perustietoa opetuksesta, 43-50. Valtiovarainministeriö, Valtion painatuskeskus.

Gabel, D. L. 1998. The complexity of chemistry and implications for teaching. Teoksessa Fraser, B. J. & Tobin, K. G. (toim.), *International Handbook of Science Education*, 233 – 248. Great Britain: Kluwer Academic Publishers.

Gardner, H. 1983. *Frames of Mind*, 173. New York: Basic Books.

Gilbert, J. K. 2008. Visualization: An emergent field of practise and enquiry in science education. Teoksessa Gilbert, J. K. (toim.) *Models and Modeling in Science Education, Visualization: Theory and Practice in Science Education*, 3-24. Springer Science + Business Media B.V.

Gilbert, J. K. 2005. Visualization: A metacognitive skill in science and education. Teoksessa Gilbert, J. K. (toim.) *Models and Modeling in Science Education, Visualization in Science Education*, 9-28. Springer, The Netherlands.

Gobert, J. 2005. Leveraging technology and cognitive tehory on visualization to promote students' science. Teoksessa Gilbert, J. K. (toim.) *Models and Modeling in Science Education, Visualization in Science Education*, 73-90. Springer, The Netherlands.

Hakkarainen, K., Bollström-Huttunen, M., Pyysalo, R. & Lonka, K. 2005. Tutkiva oppiminen käytännössä: Matkaopas opettajille, 21-35. Helsinki: WSOY.

Hakkarainen, K., Lipponen, L., Ilomäki, L., Järvelä, S., Lakkala, M., Muukkonen, H., Rahikainen, M. & Lehtinen, E. 1999. Tieto- ja viestintätekniikka tutkivan oppimisen välineenä, 13. Helsingin kaupungin opetusvirasto. Helsinki: Multiprint.

Hakkarainen, K., Lonka, K. & Lipponen, L. 1999. Tutkiva oppiminen. Älykkään toiminnan rajat ja niiden ylittäminen. Helsinki: WSOY.

Hakkarainen, K., Lonka, K. & Lipponen, L. 2004. Tutkiva oppiminen. Järki, tunteet ja kulttuuri oppimisen sytyttäjinä. Helsinki: WSOY.

Hintikka, J. 1999. Inquiry as inquiry: A logic of scientific discovery. *Selected papers of Jaakko Hintikka*, 5. Dordrecht: Kluwer.

Hofer, B. 2002. Personal epistemology as a psychological and educational construct: an introduction. Teoksessa Hofer, B. & Pintrich, P. (toim.) *Personal epistemology: the psychology of beliefs about knowledge and knowing*, 3-14. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

Honkote, S., Dutta, A., Iyer, E. S. S. & Deorukhkar, S. Catalytic hydrogenation. Project Oscar, Indian Institute of Technology Bombay. [WWW] Viitattu 16.6.2014. Saatavissa: <http://oscar.iitb.ac.in/onsiteDocumentsDirectory/Catalytic%20Hydrogenation/Catalytic%20Hydrogenation/Catalytic%20Hydrogenation.html>

Johnstone, A. H. 1982. Macro- and microchemistry, *School Science Review* 64(227), 377-379.

Johnstone, A. H. 1984. New Stars for the Teacher to Steer by? *Journal of Chemical Education* 61(10), 847-849.

Johnstone, A. H. 1993. The development of chemistry teaching: a changing response to a changing demand. *Journal of Chemical Education* 70(9), 701-705.

Jyväskylän yliopisto. Oppimistyylit, Jyväskylän yliopiston kielikeskus – opi oppimaan. [WWW] Viitattu 13.5.2014. Saatavissa: <https://kielikompassi.jyu.fi/opioppimaan/oppimistyylit.htm>

Kozma, R. & Russell, J. 1997. Multimedia and Understanding: Expert and Novice Responses to Different Representations of Chemical Phenomena, *Journal of Research in Science Teaching* 34(9), 949.

Kozma, R. & Russell, J. 2005. Students becoming chemists: Developing representational competence. Teoksessa Gilbert, J. K. (toim.) *Models and Modeling in Science Education, Visualization in Science Education*, 121-145. Springer, The Netherlands.

Krapp, A., Hidi, S. & Renninger, A. K. 1992. Interest, learning and development. Teoksessa Renninger, A. K., Hidi, S. & Krapp, A. (toim.), *The role of interest in learning and development*. New Jersey: Lawrence Erlbaum.

Laroche, L. H., Wulfsberg, G. & Young, B. 2003. Discovery videos: a safe, tested, time-efficient way to incorporate discovery-laboratory experiments into the classroom. *Journal of Chemical Education*, 80(8), 962-966.

Lindblom-Ylänne, S., Mikkonen, J., Heikkilä, A., Parpala, A. & Pyhältö, K. 2009. Oppiminen yliopistossa. Teoksessa Lindblom-Ylänne, S. & Nevgi, A. (toim.) *Yliopisto-opettajan käsikirja*, 70-99. Helsinki: WSOYpro OY.

Lindblom-Ylänne, S., Nieminen, J., Iivanainen, A. & Nevgi, A. Ongelmalähtöinen oppiminen ja case-menetelmä. Teoksessa Lindblom-Ylänne, S. & Nevgi, A. (toim.) *Yliopisto-opettajan käsikirja*, 262-279. Helsinki: WSOYpro OY.

Lonka, K., Pyhältö, K. & Lipponen, L. 2009. Tutkimalla oppimassa – Tutkiva oppiminen yliopistossa. Teoksessa Lindblom-Ylänne, S. & Nevgi, A. (toim.) *Yliopisto-opettajan käsikirja*, 254-261. Helsinki: WSOYpro OY.

Lowe, R. (2001). Beyond ‘Eye-candy’: Improving learning with animations. *Paper Presented at the Apple University Consortium Conference*, Townsville.

Marton, F., Beaty, E. & Dall’Alba, G. 1993. Conceptions of learning. *International Journal of Educational Psychology* 19, 277-300.

Mayer, R. E. 1997. Multimedia learning: are we asking the right questions? *Educational Psychologist* 32, 1–19.

Muukkonen, H. 2012. Ilmiöpohjainen oppiminen. Teoksessa Ilomäki, L. (toim.) *Laatua e-oppimateriaaleihin. Oppaat ja käsikirjat 2012:5*, Opetushallitus.

Nelson, T. O. & Narens, L. 1994. Why investigate metacognition? Teoksessa Metcalfe, J. & Shinamura, A. P. (toim.) *Metacognition*, 1-25. Cambridge, MA: MIT Press.

Nevgi, A. & Lindblom-Ylänne, S. 2009. Oppimisen teorian. Teoksessa Lindblom-Ylänne, S. & Nevgi, A. (toim.) *Yliopisto-opettajan käsikirja*, 220-232. Helsinki: WSOYpro OY.

Opetushallitus. 2011. Tieto- ja viestintäteknikka opetuskäytössä – Välineet, vaikuttavuus ja hyödyt. *Muistiot* 2011:2.

Patrick, G. 2004. Organic chemistry. UK: Taylor & Francis Group.

Pernaa, J. 2010. Tieto- ja viestintäteknikkaan pohjautuvat oppimisympäristöt ja koulutus kemian oppimisen ja opetuksen tukena. *Lisensiaatintutkielma*. Kemian opettajan-koulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto.

Pernaa, J. & Aksela, M. 2013. Sähköisten kemian oppimisympäristöjen historia, nykytila ja tulevaisuus. *Kemian opettajankoulutusyksikkö*, Kemian laitos, Helsingin yliopisto.

Peterson, M. P. 1994. Cognitive issues in cartographic visualization. Teoksessa Maceachren, A. M. & Taylor, D. F. (toim.) *Visualization in Modern Cartography*, 27-43. Oxford: Pergamon.

Prashnig, B. 2000. Erilaisuuden voima. 301. Juva: WS Bookwell Oy.

Ramsden, P. 2003. Learning to teach in higher education. London, Routledge.

Rapp, D. & Kurby, C. 2008. The 'Ins' and 'Outs' of Learning: Internal representations and external visualizations. Teoksessa Gilbert, J. K. (toim.) *Models and Modeling in Science Education, Visualization: Theory and Practice in Science Education*, 29-52. Springer Science + Business Media B.V.

Rongas, A. & Silander, P. 2008. Ilmiöpohjaisuus. [WWW]. Viitattu 29.5.2014. Saatavissa: <http://ilmiopohjaisuus.wikispaces.com/Ilmi%C3%B6pohjaisuus>

Rytkönen, M. & Hätönen, H. 2008. Näkökulmia oppimiseen. Opetushallitus. Helsinki: Edita Prima Oy

Sanger, M., Phelps, A., and Fienhold, J., 2000, Using a computer animation to improve students' conceptual understanding of a can-crushing demonstration. *Journal of Chemical Education* 77(11), 517-1520.

Savin-Baden, M. 2000. Problem-based learning in higher education: Untold stories. Suffolk: The Society for Research into Higher Education & Open University Press.

Siljander, P. 2005. Systemaattinen johdatus kasvatustieteeseen. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava.

Sirhan, G. Learning difficulties in chemistry: An Overview. *Journal of Turkish Science Education* 4(2), 2.

Talanquer, V. 2011. Macro, Submicro and Symbolic: The many faces of the chemistry "triplet". *International Journal of Science Education* 33(2), 179-195.

Tap OChem. Hydrogenation of alkynes with Lindlar catalyst. Tap OChem - The Organic Chemistry Animation App, version 3.3. Viitattu 25.6.2014. Saatavissa: Tap OChem - Apple App Store.

Tap OChem. Trans alkenes from alkynes, metal-ammonia reduction. Tap OChem - The Organic Chemistry Animation App, version 3.3. Viitattu 25.6.2014. Saatavissa: Tap OChem - Apple App Store.

Tasker, R. & Dalton, R. 2006. Research into practice: visualization of the molecular world using animations. *Chemistry Education Research and Practice* 7(2), 141-159.

Taylor, D. & Mifflin, B. 2008. Problem-based learning: Where are we now? *Medical Teacher* 30, 742-763.

The Royal Swedish Academy of Sciences. 2001. Advanced information on the Nobel Prize in Chemistry 2001: Catalytic asymmetric synthesis. Information department, Stockholm, Sweden.

TTY:n opinto-opas 2013 – 2014, Tutkinto-ohjelmat. 2013. Tampereen teknillinen yliopisto. Juvenes Print – Suomen Yliopistopaino Oy, Tampere.

Tversky, B. 2005. Prolegomenon to scientific visualizations. Teoksessa Gilbert, J. K. (toim.) *Models and Modeling in Science Education, Visualization in Science Education*, 29-42. Springer, The Netherlands.

University of Colorado. 2013. Acid-base solutions, Phet interactive simulations. [WWW] Viitattu 4.5.2014. Saatavissa: <https://phet.colorado.edu/en/simulation/acid-base-solutions>

Uttal, D. & Doherty, K. 2008. Comprehending and learning from ‘visualizations’: a developmental perspective. Teoksessa Gilbert, J. K. (toim.) *Models and Modeling in Science Education, Visualization: Theory and Practice in Science Education*, 54-55. Springer Science + Business Media B.V.

Velázquez-Marcano, A., Williamson, V. M., Ashkenazi, G., Tasker, R. & Williamson, K. C. 2004. The use of video demonstrations and particulate animation in general chemistry. *Journal of Science Education and Technology* 13(3), 315-323.

Williamson, V. & Abraham, M. 1995, The effects of computer animation on the particulate mental models of college chemistry students, *Journal of Research in Science Teaching*, 32(5): 521-534.

Wu, H. K. & Shah, P. 2004. Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science Education*, 88(3), 465-492.

Yang, E., Greenbowe, T. & Andre, T. 2004. The effective use of interactive software program to reduce students' misconceptions about batteries. *Journal of Chemical Education* 81(4), 587-595.

Yrjänäinen, S. & Ropo, E. 2013. Narratiivisesta opetuksesta narratiiviseen oppimiseen. Teoksessa Ropo, E. & Ropponen, M. (toim.) *Puheenvuoroja narratiivisuudesta opetuksessa ja oppimisessa*. Tampere University Press, 17-46, Tampere.